



Istruzioni Operative per l'applicazione delle

LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI

*previste dall'articolo 1, comma 3, del Decreto del Ministro delle Infrastrutture e della
Mobilità sostenibili 1 luglio 2022, pubblicato nella GURI del 23.08.2022*

Revisione1

Parere di Assemblea Generale del C.S.LL.PP. n. 17 del 24.07.2025

SOMMARIO

PARTE I	9
1. INTRODUZIONE.....	10
1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DELLE LINEE GUIDA.....	10
1.2 OBIETTIVI E STRUTTURA DELL'APPROCCIO MULTILIVELLO	11
1.3 DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI ANALISI E RELAZIONI TRA ESSI	11
1.4 CENNI GENERALI SULLA VALUTAZIONE DELLA RILEVANZA TRASPORTISTICA	14
1.5 PRIORIZZAZIONE DELLE ATTIVITA'	15
1.6 MODELLI INFORMATIVI	17
1.7 COMPETENZE DEGLI OPERATORI.....	19
1.8 LABORATORI DI PROVA	19
2. LIVELLO 0. CENSIMENTO DELLE OPERE.....	19
2.1 OBIETTIVI DEL CENSIMENTO	19
2.2 MODALITÀ DI ACQUISIZIONE E DI RAPPRESENTAZIONE DEI DATI.....	20
3. LIVELLO 1. ISPEZIONI VISIVE E SCHEDE DI DIFETTOSITÀ	21
3.1 MODALITÀ E FINALITÀ DELLE ISPEZIONI VISIVE.....	21
3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI.....	21
3.3 DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI.....	24
3.4 SCHEDA FRANE E IDRAULICA	25
3.5 CASI IN CUI SONO NECESSARIE VALUTAZIONI ACCURATE E DI DETTAGLIO: DAL LIVELLO 1 AL LIVELLO 4.....	26
3.6 ISPEZIONI SPECIALI	26
4. LIVELLO 2. ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE....	30
4.1 STRUTTURA GENERALE DEL METODO DI CLASSIFICAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE 31	
4.2 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE.....	32
4.2.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE	32
4.2.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE.....	34
ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ ALTO	38
ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO-ALTO	38
ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO	38
ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO-BASSO.....	39
ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ BASSO	39
4.2.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE	46
4.2.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE	49
4.3 CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA	51
4.3.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO	51

4.3.2	VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA	52
4.3.3	STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ SISMICA.....	53
	<i>ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ ALTO</i>	<i>57</i>
	<i>ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO-ALTO.....</i>	<i>57</i>
	<i>ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO</i>	<i>58</i>
	<i>ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ MEDIO-BASSO.....</i>	<i>58</i>
	• GLI ELEMENTI LA CUI CRISI PUÒ COMPROMETTERE IL COMPORTAMENTO NEI CONFRONTI DELLE AZIONI SISMICHE DELLA CAMPATA (O GLOBALE DELL'OPERA) PER I QUALI SI RISCONTRINO DIFETTI DI GRAVITÀ MEDIA E BASSA ($G=3$, $G=2$, $G=1$), DI QUALSIASI INTENSITÀ ED ESTENSIONE BASSA.	59
	<i>ELEMENTI CON LIVELLO DI DIFETTOSITÀ BASSO</i>	<i>59</i>
4.3.4	STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE SISMICA.....	60
4.3.5	STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA A LIVELLO TERRITORIALE.....	61
4.4	CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE.....	62
4.4.1	DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO DI DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE LEGATA AL RISCHIO FRANE	62
4.4.2	STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ LEGATO AL RISCHIO FRANE.....	63
4.4.3	STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ LEGATO AL RISCHIO FRANE	68
4.4.4	STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE LEGATO AL RISCHIO FRANE	70
4.4.5	STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE FRANE A LIVELLO TERRITORIALE	70
4.5	CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO IDRAULICO DEGLI ATTRAVERSAMENTI FLUVIALI	71
4.5.1	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO	73
4.5.2	STIMA DELLA VULNERABILITÀ LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO	82
	<i>ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.3</i>	<i>85</i>
4.5.3	STIMA DELL'ESPOSIZIONE LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO	85
4.5.4	STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE RISCHIO IDRAULICO	85
4.6	ANALISI MULTI-RISCHIO E DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE COMPLESSIVA...	86
5.	LIVELLO 3: VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA	89
	PARTE II	94
6.	LIVELLO 4: VERIFICA ACCURATA	94
6.1	CONCETTI FONDAMENTALI E STRATEGIE PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	94
6.1.1	LA NORMATIVA VIGENTE.....	94
6.1.2	IL RUOLO FONDAMENTALE DELLA CONOSCENZA	94
6.1.3	LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E RELATIVI PROVVEDIMENTI	95
6.1.4	CASI IN CUI È NECESSARIA LA VALUTAZIONE DI SICUREZZA.....	96
6.1.5	LIVELLI DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	97
	6.1.5.1 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI SICUREZZA SECONDO LE NORME TECNICHE.....	99
	6.1.5.2 CONDIZIONE DI OPERATIVITÀ.....	100
	6.1.5.3 CONDIZIONE DI TRANSITABILITÀ.....	100
6.2	LA CONOSCENZA DEL PONTE.....	101
6.2.1	IL PERCORSO ITERATIVO DELLA CONOSCENZA	102

6.2.2	INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI E DEI MATERIALI.....	102
6.2.3	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA	104
6.2.4	PONTI METALLICI STORICI	105
6.3	MODALITÀ OPERATIVA DI VERIFICA	105
6.3.1	IPOTESI E FINALITÀ DEI LIVELLI DI VALUTAZIONE	106
6.3.2	VALUTAZIONE DELLE AZIONI	106
6.3.2.1	CARICHI PERMANENTI	106
6.3.2.2	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO	107
6.3.2.3	AZIONE SISMICA	109
6.3.2.4	AZIONI IDRODINAMICHE E VERIFICA DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI	109
6.3.2.5	ALTRE AZIONI VARIABILI.....	110
6.3.3	VALORI DI PROGETTO DELLE AZIONI	110
6.3.3.1	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA DELLE AZIONI.....	110
6.3.3.2	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA DEI CARICHI PERMANENTI.....	110
6.3.3.3	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA DELLE AZIONI VARIABILI, SCHEMI DI TRAFFICO DA NORME TECNICHE	111
6.3.3.4	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA DELLE AZIONI VARIABILI, SCHEMI DI TRAFFICO DA CODICE DELLA STRADA	112
6.3.3.5	RIDUZIONE DELLE INCERTEZZE DI MODELLAZIONE	112
6.3.4	VALORI DI PROGETTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI.....	113
6.3.4.1	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA	115
6.3.5	VERIFICHE DI SICUREZZA	115
6.3.5.1	VERIFICA DEL SISTEMA DI FONDAZIONE	116
6.3.5.2	PROBLEMI DI VERIFICA LOCALE	116
6.3.5.3	SITUAZIONI CHE RICHIEDONO LO SVOLGIMENTO DELLE VERIFICHE DI ESERCIZIO	116
6.3.5.4	VERIFICHE DI SICUREZZA PER IL TRANSITO DI MEZZI ECCEZIONALI	117
6.3.5.5	VERIFICA IN SITO DELLA SICUREZZA PER TRANSITABILITÀ TEMPORANEA.....	117
PARTE III	119
7.	SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO	119
7.1	INTRODUZIONE.....	119
7.1.1	STRUMENTI OPERATIVI DEL SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO	119
7.2	IL SISTEMA DI SORVEGLIANZA.....	120
7.2.1	GENERALITÀ	120
7.2.2	DOCUMENTAZIONE DEL SISTEMA	120
7.3	IL SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE.....	121
7.3.1	SCOPO DEL SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE.....	121
7.4	LE ISPEZIONI.....	122
7.4.1	ISPEZIONI ORDINARIE	122
7.4.2	ISPEZIONI STRAORDINARIE	125
7.4.3	CASI CHE RICHIEDONO PARTICOLARE ATTENZIONE	126
7.4.3.1	STRUTTURE PRECOMPRESSE A CAVI POST-TESI.....	126
7.4.3.2	SCALZAMENTO DELLE PILE E DELLE SPALLE.....	127

7.4.3.3	ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA.....	127
7.5	PROVE DI CARICO STATICHE E RILIEVI DINAMICI	127
7.5.1	PROVE DI CARICO STATICHE	128
7.5.2	RILIEVI DELLA RISPOSTA DINAMICA.....	128
7.6	MONITORAGGIO STRUMENTALE (SHM)	129
7.6.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	129
7.6.2	MONITORAGGIO OCCASIONALE E PERIODICO.....	131
7.6.3	MONITORAGGIO PERMANENTE O CONTINUO.....	132
7.7	INDICATORI NUMERICI E MODELLI DI DEGRADO	134
7.7.1	INDICATORI NUMERICI DELLO STATO DI CONDIZIONE	134
7.7.2	SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME.....	136
7.7.3	AGGIORNAMENTO DELLA CLASSE DI ATTENZIONE	136
7.7.4	PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE	137
7.8	SOFTWARE PER LA GESTIONE DEI PONTI (BMS).....	138
8.	TEMPI DI ATTUAZIONE	139
9.	BIBLIOGRAFIA	140

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi	12
Figura 4.1. – Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione.....	31
Figura 4.2. – Determinazione della classe di vulnerabilità strutturale e fondazionale.	35
Figura 4.3. – Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale	47
Figura 4.4. – Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica	52
Figura 4.5. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità sismica	53
Figura 4.6. – Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica.....	61
Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità.....	65
Figura 4.8. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità.....	69
Figura 5.1 - Schemi di carico previsti dalla Normale n. 8 del 1933	90
Figura 5.2 – Sezione trasversale dell’impalcato del ponte (quote in cm).....	91
Figura 5.3 – Esempio di disposizione trasversale dello schema di carico previsto dalla combinazione 2.3 della Normale n. 8 (quote in cm).	91
Figura 5.4 – Schema di carico longitudinale (combinazione 2.3).....	91
Figura 6.1 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 440 kN	107
Figura 6.2 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 260 kN	107
Figura 6.3 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 75 kN	108
Figura 7.1– Sistema di identificazione a più livelli interconnessi.....	122
Figura 7.2– Curva di degrado tipica per ponti in cemento armato (UNI EN 16991:2018).....	135
Figura 7.3– Soglie di attenzione e di allarme.....	136
Figura 7.4– Classi di Attenzione in funzione dello stato di condizione	137
Figura 7.5– Evoluzione dell’indice di affidabilità e della vita utile in funzione degli interventi (Rif. Figura C.2.1 Circolare C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n. 7).....	138

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale	32
Tabella 4.2. – Classificazione delle strade in funzione della massima massa ammissibile.....	33
Tabella 4.3. – Classi di pericolosità in funzione della classe stradale e della frequenza del passaggio di veicoli commerciali	33
Tabella 4.4. – Frequenza del transito di veicoli commerciali per singola corsia di marcia	34
Tabella 4.5. – Classificazione del livello di difettosità	35
Tabella 4.6. – Classi di vulnerabilità in funzione di schema statico, luce e materiale (L = luce della campata più lunga).....	44
Tabella 4.7. – Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull’intera carreggiata).....	47
Tabella 4.8. – Livello di Traffico Medio Giornaliero e luce media della campata del ponte	48
Tabella 4.9. – Tipologia di ente scavalcato	48
Tabella 4.10. – Determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale in funzione di classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione	50
Tabella 4.11. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica	51
Tabella 4.12. – Classificazione sulla base dell’accelerazione di picco al suolo (a_g) e categoria topografica (T_i)	52
Tabella 4.13. – Classificazione sulla base di schema statico, luce e materiale	54
Tabella 4.14– Livelli di difettosità ai fini della classificazione della vulnerabilità sismica	56
Tabella 4.15. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane	62
Tabella 4.16. - Attribuzione dei valori numerici dei parametri di suscettibilità in funzione della di stato di attività, magnitudo, e velocità dell’evento.....	66
Tabella 4.17 - Determinazione dell’instabilità di versante in funzione della sommatoria dei valori numerici associati ai parametri influenti ...	67
Tabella 4.18. – Determinazione della classe di attenzione frane in funzione di classe di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione	70
Tabella 4.19 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico.....	72
Tabella 4.20 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d’acqua principali non arginati)	77
Tabella 4.21 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d’acqua secondari non arginati)	77
Tabella 4.22 – Classe di pericolosità relativa al fenomeno di erosione generalizzata.....	80
Tabella 4.23 – Classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzata.....	81
Tabella 4.24 - Classi di vulnerabilità per il fenomeno di sormonto	82
Tabella 4.25 – Classe di vulnerabilità per il fenomeno di erosione generalizzata	83
Tabella 4.26 – Classe di vulnerabilità per il fenomeno di erosione localizzata	84
Tabella 4.27 – Classe di attenzione idraulica del ponte in relazione ai fenomeni erosivi	86

<i>Tabella 4.28. – Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione complessiva</i>	<i>86</i>
<i>Tabella 4.29. – Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione idraulica e frane</i>	<i>87</i>
<i>Tabella 5.1 – Massime sollecitazioni flettenti calcolate con la Normale n.8 del 1933 e il D.M. 17.01.2018 e loro rapporto.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabella 6.1 - Livelli di analisi in funzione delle finalità delle verifiche</i>	<i>106</i>
<i>Tabella 6.2– Fattori parziali di sicurezza per i carichi permanenti, γ_G per verifiche di transitabilità e operatività.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabella 6.3– Fattori parziali di sicurezza per i carichi permanenti, γ_G per verifiche di adeguamento.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabella 6.4– Fattori parziali di sicurezza considerando come azioni principali le azioni variabili da traffico.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabella 6.5 – Fattori parziali di sicurezza considerando come azione principale l'azione del vento.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabella 6.6– Fattori parziali di sicurezza per le caratteristiche di resistenza dei materiali da cemento armato</i>	<i>115</i>
<i>Tabella 6.7– Fattori parziali di sicurezza per le caratteristiche di resistenza dei materiali, condizioni di Operatività e Transitabilità.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabella 7.1– Frequenza minima delle ispezioni ordinarie</i>	<i>123</i>
<i>Tabella 8.1– Tempi di attuazione.....</i>	<i>139</i>

PREMESSA

L'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali (ANSFISA), tramite la Direzione Generale competente per la sicurezza delle infrastrutture stradali e autostradali, in attuazione dei propri compiti istituzionali, ha recentemente avviato le proprie sistematiche attività ispettive a campione, sui sistemi e processi adottati dai gestori e sulle tratte stradali e relative infrastrutture, anche a seguito dell'adozione, avvenuta lo scorso 20 luglio 2021, del Programma delle attività di vigilanza diretta dell'Agenzia sulle condizioni di sicurezza delle infrastrutture stradali e autostradali – anno 2021, di cui all'articolo 12, comma 5-bis, del decreto- legge 28 settembre 2018, n. 109, convertito con modificazioni nella legge 16 novembre 2018, n. 130, modificato dall'articolo 65, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77.

Con Decreto ministeriale 17 dicembre 2020 n. 578, in attuazione del co. 1 art. 14 del D.L. 109/2018 (convertito con modificazioni dalla legge n.130 del 16/11/2018), sono state adottate - successivamente al favorevole parere del Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 88/2019 espresso in data 17 aprile 2020 - le *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti* (relativamente alle infrastrutture stradali e autostradali gestite da gestite da ANAS spa o da concessionari autostradali).

Il successivo avvio delle connesse attività di competenza dei Concessionari autostradali ed ANAS S.p.A. ha evidenziato l'insorgere di questioni interpretative, cui è conseguito un contesto applicativo caratterizzato da margini di discrezionalità, non conciliabili con le esigenze di vigilanza e certificazione di competenza di questa Agenzia.

Pertanto, nell'ambito delle competenze proprie di questa Agenzia, si è ritenuto opportuno predisporre le presenti Istruzioni Operative che portassero, a Linee Guida invariate, un contributo di chiarezza ed uniformità interpretativa necessarie alle attività di questa Agenzia.

Le istruzioni così elaborate sono basate su:

- le recenti esperienze di vigilanza dell'Agenzia, costituite dalle attività ispettive a campione sui sistemi e processi adottati dai gestori e sulle tratte stradali e relative infrastrutture;
- le prime riflessioni sulle pratiche applicative avviate dai gestori;
- le osservazioni di professionisti incaricati di approcciare il tema di classificazione del rischio dei ponti esistenti;
- approfondimenti e studi condotti in ambito accademico.

Esse sono anche frutto della collaborazione, formalizzata con l'accordo stipulato il 3 agosto 2021, fra l'Agenzia ed il Consorzio *FABRE - Consorzio di ricerca per la valutazione ed il monitoraggio di ponti, viadotti e altre strutture*.

La predisposizione di detto documento interpretativo e di indirizzo – redatto in forma di istruzioni operative inserite nel corpo del testo delle vigenti Linee Guida– ha come obiettivo l'individuazione da parte degli operatori di un comune ed uniforme approccio alla procedura multilivello che, a partire dal censimento delle opere, conduce sino alla determinazione di una classe di attenzione sulla base della quale attivare le verifiche, tenendo conto delle più ampie esigenze di certificazione dei Sistemi di Gestione della Sicurezza.

Le presenti Istruzioni Operative non vanno quindi intese in termini di «aggiornamento» o «modifica» delle Linee Guida, bensì come strumento che ne consenta la più ampia, agevole, uniforme ed immediata operatività, anche ai fini di una standardizzazione di approccio da parte dei gestori ai sistemi di gestione per le attività di verifica e manutenzione delle infrastrutture, la cui promozione, e successiva certificazione, rientra fra i compiti di questa Agenzia.

Esse sono anche funzionali ad un più chiaro ed agevole utilizzo delle Linee Guida da parte di tutti i gestori stradali, ivi compresi gli Enti Locali.

La proposta di Istruzioni Operative alle Linee Guida è, quindi, parte essenziale della linea d'azione dell'Agenzia e del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili nel settore della sicurezza, ed è conforme alla realizzazione delle riforme cui si è impegnata l'Italia per l'attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Si precisa che le presenti I.O. sono mere esplicazioni del testo vigente delle Linee Guida, che intervengono sullo stesso chiarendone e uniformandone ulteriormente il significato interpretativo. A tal fine, l'esplicazione del testo è resa avvalendosi di I.O. aggiuntive oppure I.O. integrative dei contenuti interpretativi delle vigenti. È altresì precisato che, proprio in quanto mere esplicazioni interpretative del testo vigente, aggiuntive o integrative che siano, le I.O. non comportano sostituzioni o modifiche del testo e dunque non incidono sui contenuti sostanziali dello stesso.

PARTE I

INTRODUZIONE

LIVELLO 0: CENSIMENTO

LIVELLO 1: ISPEZIONI INIZIALI E SPECIALI

LIVELLO 2: CLASSI DI ATTENZIONE

LIVELLO 3: VALUTAZIONI PRELIMINARI

1. INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA GENERALE E SCOPO DELLE LINEE GUIDA

La presente Linea Guida illustra una procedura per la gestione della sicurezza dei ponti esistenti, ai fini di prevenire livelli inadeguati di danno, rendendo accettabile il rischio. Essa è composta da tre parti, **sul censimento e la classificazione del rischio**, la **verifica della sicurezza** e la **sorveglianza e monitoraggio** dei ponti e dei viadotti esistenti (nel seguito semplicemente "ponti" o "opere"), ove per ponti e viadotti si intendono le costruzioni, aventi luce complessiva superiore ai 6.0 m, che permettono di oltrepassare una depressione del terreno o un ostacolo, sia esso un corso o uno specchio d'acqua, altro canale o via di comunicazione o una discontinuità naturale o artificiale.

In particolare, essa illustra come la classificazione del rischio o, meglio, la classe di attenzione si inquadri in un approccio generale multilivello che dal semplice censimento delle opere d'arte da analizzare arriva alla determinazione di una classe di attenzione sulla base della quale si perverrà, nei casi previsti dalla metodologia stessa, alla verifica di sicurezza. Gli esiti della classificazione e della verifica costituiscono utili informazioni per una eventuale successiva valutazione dell'impatto trasportistico mediante un'analisi della resilienza della rete. Sono approfondite nel dettaglio le metodologie necessarie per sviluppare l'approccio proposto a livello territoriale, quali il censimento delle opere, l'esecuzione delle ispezioni, iniziali e speciali, ai fini della redazione delle schede di difettosità dell'opera nonché la valutazione della classe di attenzione in funzione dei possibili rischi rilevanti, strutturale (statico e fondazionale), sismico, idro-geologico (idraulico e da frana). Tali rischi, inizialmente analizzati separatamente in termini di pericolosità, vulnerabilità e esposizione, sono poi riuniti in un'unica classificazione generale della classe di attenzione. In quest'ottica, il presente documento fornisce gli strumenti per la conoscenza a livello territoriale dei ponti, nella più larga accezione del termine, e per definire le priorità per l'esecuzione delle eventuali operazioni di sorveglianza e monitoraggio, di verifica e di intervento. Relativamente alle opere con luce minore di 6.0 m, sarà comunque cura del gestore dell'infrastruttura definire le modalità di sorveglianza e monitoraggio, anche in termini di cadenza temporale, in funzione delle specifiche peculiarità delle opere e delle caratteristiche territoriali.

Ai fini dell'applicazione delle presenti linee guida per gestore deve intendersi il soggetto che esplica i compiti richiamati dall'art. 14 del decreto legislativo n. 285/1992 (Nuovo Codice della Strada) tra i quali:

- la manutenzione, gestione e pulizia delle strade, delle loro pertinenze e arredo, nonché delle attrezzature, impianti e servizi;
- il controllo tecnico dell'efficienza delle strade e relative pertinenze;
- il rilascio delle autorizzazioni e delle concessioni.

Il gestore, quindi, è identificabile nell'ente proprietario della strada o, per le strade in concessione, nel concessionario; in via generale il rapporto di concessione tra l'ente proprietario ed il concessionario è regolamentato da appositi atti convenzionali.

Per le opere di attraversamento della sede stradale quali i cavalcavia si evidenzia che per gestore deve intendersi il titolare dell'opera d'arte così come regolamentato dall'art. 25 del decreto legislativo n. 285/1992.

Il documento, e la metodologia in esso descritta, assumendo un'ampia valenza, possono applicarsi, nei principi e nelle regole generali, sia ai ponti stradali che a quelli ferroviari. Ferma restando questa valenza generale, la presente versione del documento declina i dettagli operativi nel caso dei ponti stradali.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.1.1

Le LLGG si applicano, in maniera cogente da parte di ANAS spa e dei concessionari autostradali, in virtù del decreto di adozione, D.M. n. 578 del 17/12/2020.

Nelle more dell'emanazione di altri Decreti di adozione, quindi anche nei casi in cui non dovessero essere giuridicamente vincolanti, le Linee Guida costituiscono comunque riferimento di comprovata validità di cui al § 12 delle venti Norme tecniche per le costruzioni, esplicitandone le modalità applicative ai ponti esistenti.

Esse, pertanto, superano, per le opere in parola, le indicazioni in materia riportate dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 19/07/1967, n. 6736/61A1, *"Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali."*, aggiornandole sia dal punto di vista amministrativo che tecnico-scientifico al quadro normativo primario e secondario vigente".

Le LLGG sono, inoltre, pienamente utilizzabili, indipendentemente dalla sperimentazione di un sistema di monitoraggio dinamico da applicare su infrastrutture, di cui al comma 1 dell'articolo 14 del D.L. 28/09/2018, n. 109, al termine del quale, ai sensi del comma 3 del medesimo D.L. 28/09/2018, n. 109, potranno essere approvati eventuali adeguamenti alle stesse LLGG.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.1.1bis

Come noto, la versione attualmente vigente delle Linee Guida è quella riportata nell'Allegato "A" al Decreto del Ministro delle infrastrutture e della mobilità sostenibili n. 204 del 01/07/2022.

Dette Linee Guida assicurano l'omogeneità della classificazione e gestione del rischio, della valutazione della sicurezza e del monitoraggio dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari, esistenti lungo:

- strade statali o autostrade gestite da Anas S.p.A. o da concessionari autostradali (DM 204/2022, art. 1, c.1);
- infrastrutture stradali gestite da enti diversi da Anas S.p.A. o da concessionari autostradali (DM 204/2022, art.1, c.2).

Pertanto, in virtù di questo Decreto, le Linee Guida si applicano, in maniera cogente, in relazione ai ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari esistenti lungo le infrastrutture stradali gestite da ANAS spa, dai concessionari autostradali e da tutti i gestori di strade, in particolare dagli Enti Locali. Ferme restando le responsabilità relative alla sicurezza in capo ai gestori dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere esistenti, le Linee Guida dovranno essere applicate entro i termini riportati nel capitolo 8 delle stesse (DM 204/2022, art. 3).

Ai sensi del medesimo Decreto ministeriale, con decreto del Presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici, su proposta di ANSFISA, per l'applicazione generale da parte di tutti i gestori dei ponti esistenti, compresi Anas S.p.A. e i concessionari autostradali, sono state adottate ed aggiornate le *"Istruzioni operative per l'applicazione delle Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti"* (DM 204/2022, art. 1, c. 3).

1.2 OBIETTIVI E STRUTTURA DELL'APPROCCIO MULTILIVELLO

L'impiego di un approccio multilivello per la gestione dei ponti esistenti è giustificato dal numero di infrastrutture presenti sul territorio italiano. La complessità e, quindi, l'onerosità delle ispezioni, delle indagini, dei controlli, dei monitoraggi e delle verifiche da effettuare, è calibrata valutando di volta in volta, seppur in modo approssimato e qualitativo, l'effettiva necessità e urgenza in funzione dello stato attuale dell'opera, pervenendo ad un metodo, omogeneo ed uniforme al variare delle tipologie di infrastrutture, di valutazione della classe di attenzione.

L'approccio multilivello proposto prevede valutazioni speditive estese a livello territoriale, quali il censimento, le ispezioni e la classificazione, e valutazioni puntuali, di complessità maggiore, concentrate su singoli manufatti. In particolare, da una prima analisi eseguita sull'intero patrimonio infrastrutturale esistente mediante la costruzione di un censimento ragionato basato sul reperimento del maggior numero di informazioni possibili e sull'effettuazione di ispezioni visive metodologicamente strutturate, è definita la classe di attenzione da attribuire ad ogni ponte e, quindi, il grado di complessità e la tipologia dei successivi approfondimenti eventualmente richiesti, opportunamente graduati ed ottimizzati.

1.3 DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI ANALISI E RELAZIONI TRA ESSI

L'approccio si sviluppa su 6 livelli differenti, aventi grado di approfondimento e complessità crescenti. Sinteticamente:

- Il **Livello 0** prevede il censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali mediante la raccolta delle informazioni e della documentazione disponibile.
- Il **Livello 1**, esteso alle opere censite a Livello 0, prevede l'esecuzione di ispezioni visive dirette e il rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area, tese a individuare lo stato di degrado e le principali caratteristiche strutturali e geometriche di tutte le opere, nonché potenziali condizioni di rischio associate a eventi franosi o ad azioni idrodinamiche.
- Il **Livello 2** consente di giungere alla classe di attenzione di ogni ponte, sulla base dei parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati elaborando i risultati ottenuti dai livelli precedenti. In funzione di tale classificazione, si procede quindi con uno dei livelli successivi.
- Il **Livello 3** prevede l'esecuzione di valutazioni preliminari atte a comprendere, unitamente all'analisi della tipologia ed entità dei dissesti rilevati nelle ispezioni eseguite al Livello 1, se sia comunque necessario procedere ad approfondimenti mediante l'esecuzione di verifiche accurate di Livello 4.
- Il **Livello 4** prevede l'esecuzione di valutazioni accurate sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti.
- Il **Livello 5**, non trattato esplicitamente nelle presenti Linee Guida, si applica ai ponti considerati di significativa importanza all'interno della rete, opportunamente individuati. Per tali opere è utile svolgere analisi più sofisticate quali quelle di resilienza del ramo della rete stradale e/o del sistema di trasporto di cui lo stesso è parte, valutando la rilevanza trasportistica, analizzando l'interazione tra la struttura e la rete stradale di appartenenza e le conseguenze di una possibile interruzione dell'esercizio del ponte sul contesto socio-economico in cui esso è inserito. Per l'esecuzione di tali studi può farsi riferimento a documenti di comprovata autorevolezza a carattere internazionale; alcuni cenni sulla valutazione della rilevanza trasportistica sono riportati nel § 1.4.

Dal Livello 0 al Livello 5, la complessità, il livello di dettaglio e l'onerosità delle indagini e delle analisi aumentano, ma il numero di infrastrutture su cui applicarle, così come il livello di incertezza dei risultati ottenuti, si riduce. Il flusso logico che complessivamente definisce le relazioni tra un livello e l'altro è mostrato in Figura 1.1.

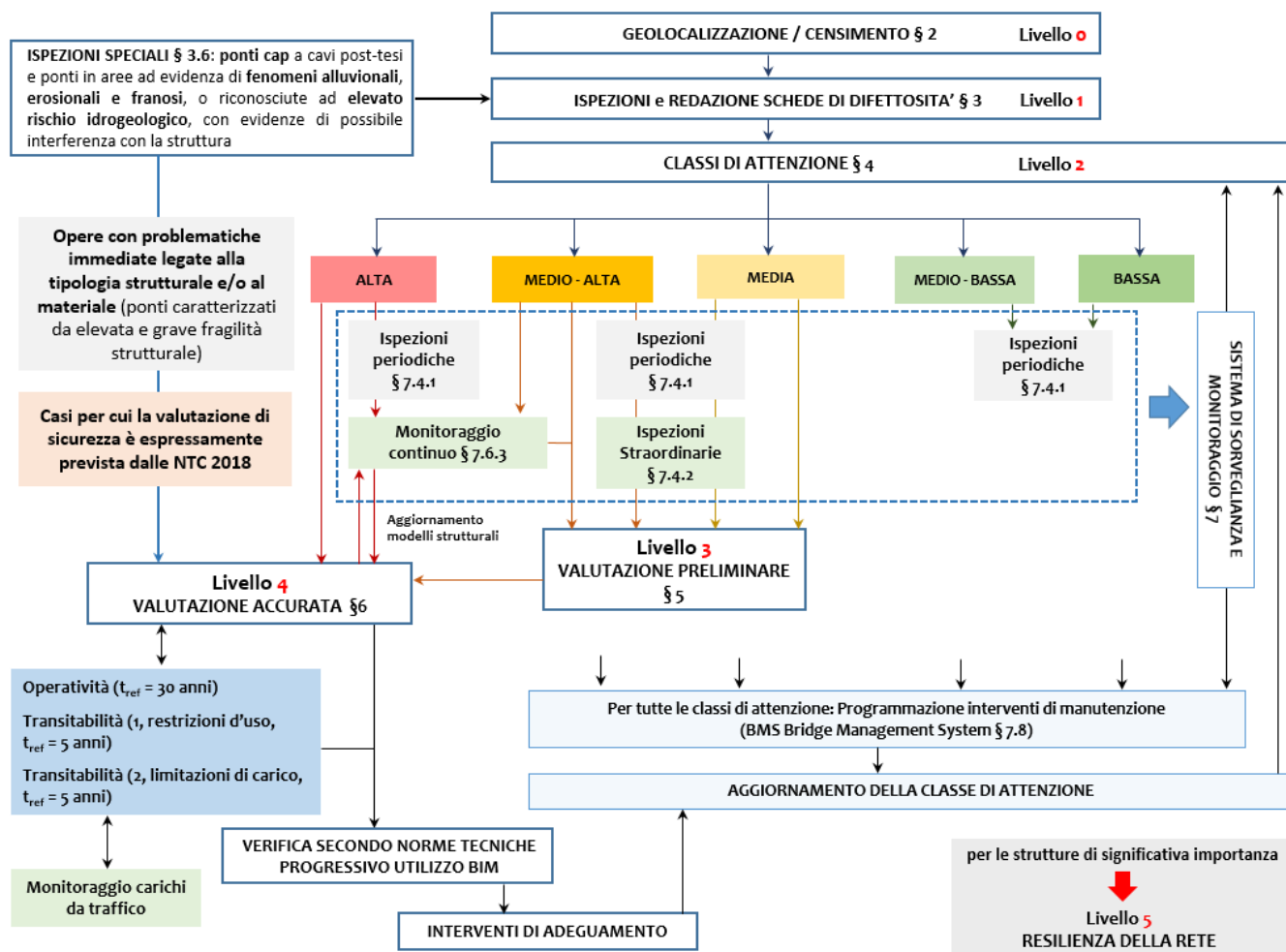


Figura 1.1 – Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

Come si evince da Figura 1.1, il fulcro centrale dell'approccio, sui cui risultati si basano le valutazioni successive, è il **Livello 2**, ossia la definizione delle classi di attenzione. Come esposto nel seguito, essa consiste nel determinare, per ogni ponte, una Classe di Attenzione (CdA), funzione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, e classificata in alta, medio-alta, media, medio-bassa e bassa. Ad ogni classe di attenzione corrispondono determinate conseguenti azioni, in termini di indagini/monitoraggio/verifiche.

In particolare:

- Per i ponti con classe di attenzione Alta è opportuno l'immediato avvio di valutazioni più accurate, sia in termini di valutazioni di sicurezza sia di approfondimenti sulle caratteristiche geotecniche e/o strutturali, laddove necessario. Le ipotesi, i criteri e le modalità di esecuzione delle valutazioni accurate, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, sono discusse nel § 6. L'esecuzione di valutazioni accurate dà la possibilità di implementare un modello della struttura la cui affidabilità e accuratezza dipende dal livello di conoscenza raggiunto. Per i ponti di Classe di Attenzione Alta è prevista l'esecuzione delle ispezioni periodiche ordinarie di cui al § 7.4.1 e, ove si rendesse necessario, delle ispezioni periodiche straordinarie, § 7.4.2, e l'installazione di sistemi di monitoraggio periodico o continuo come descritto nel § 7.6.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.3.1

Le modalità di esecuzione delle valutazioni di sicurezza e degli eventuali approfondimenti sulle caratteristiche del materiale, come previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, sono illustrate al § 6. In particolare, le possibili indagini finalizzate alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali sono contenute nel § 6.2.2.

- Per i ponti con classe di attenzione Medio-Alta è previsto l'impiego di valutazioni preliminari di Livello 3 e l'esecuzione delle ispezioni periodiche ordinarie di cui al § 7.4.1 e, ove si rendesse necessario, delle ispezioni periodiche straordinarie, § 7.4.2, e l'installazione di sistemi di monitoraggio periodico o continuo come descritto nel § 7.6.

L'ente gestore verifica, caso per caso, la necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4, sulla base della tipologia e qualità dei difetti riscontrati e dei risultati delle analisi preliminari di Livello 3.

I risultati delle ispezioni e del monitoraggio periodico o continuo possono consentire la valutazione dello stato della costruzione mediante osservazione sperimentale del suo comportamento nella sua evoluzione temporale, in modo da ampliare le informazioni ricavate dalle ispezioni visive con dati più accurati relativi all'effettivo progredire dei fenomeni di degrado. Le modalità di impiego e le informazioni aggiuntive ricavabili dai sistemi di monitoraggio sono descritte nel § 7.7. Ispezioni e monitoraggio sono quindi di ausilio alle valutazioni preliminari di Livello 3 e comunque, laddove ispezioni periodiche o straordinarie e monitoraggio strumentale evidenzino fenomeni evolutivi e problematiche rilevanti non precedentemente colte dalle ispezioni iniziali, occorre proseguire con l'esecuzione delle analisi accurate previste dal Livello 4 (riclassificando il ponte in CdA Alta), sviluppando un modello completo dell'opera in continuo aggiornamento sulla base dei risultati del monitoraggio stesso.

- Per ponti con CdA Media occorre eseguire valutazioni preliminari di Livello 3, così come descritto per la CdA Medio-Alta, ed ispezioni periodiche ordinarie di cui al § 7.4.1. Ove si rendesse necessario nel caso, sulla base delle ispezioni periodiche ordinarie, siano stati rilevati fenomeni di degrado in rapida evoluzione, è necessario eseguire anche ispezioni periodiche straordinarie di cui al § 7.4.2. Il gestore verifica quindi, caso per caso, sulla base delle valutazioni di Livello 3, se sia necessario installare sistemi di monitoraggio periodico o continuo (riclassificando il ponte in CdA Medio-Alta) e/o se eseguire valutazioni accurate di sicurezza di Livello 4 (riclassificando il ponte in CdA Alta).
- Per i ponti in CdA Medio-Bassa non sono previste valutazioni o analisi diverse da quelle già eseguite bensì l'esecuzione di ispezioni periodiche frequenti (si veda al proposito la parte ad esso dedicata nelle presenti linee guida).
- Per i ponti in CdA Bassa non sono previste valutazioni o analisi diverse da quelle già eseguite bensì l'esecuzione di ispezioni periodiche (si veda al proposito la parte ad esso dedicata nelle presenti linee guida).

In ogni caso, qualora non si proceda a valutazioni accurate della sicurezza, qualsiasi sia la classe di attenzione determinata, occorre comunque eseguire, oltre agli interventi manutentivi programmati e periodici, gli interventi manutentivi essenziali individuati sulla base delle ispezioni.

Inoltre, sulla base dei risultati delle ispezioni periodiche ordinarie o straordinarie o del monitoraggio periodico e/o continuo eseguiti per le diverse Classi di Attenzione, occorre rivalutare, di volta in volta, la Classe di Attenzione dell'opera e quindi i provvedimenti ad essa conseguenti. Ovviamente la Classe di Attenzione dell'opera è previsto sia rivalutata anche in conseguenza agli eventuali interventi di manutenzione/riparazione/miglioramento effettuati. In ogni caso la rivalutazione della Classe di Attenzione è opportuno sia effettuata almeno ogni 2 anni per le opere di CdA Media e Medio-Alta, fermo restando che le opere di CdA Alta è previsto siano soggette a verifiche di Livello 4 ed agli interventi conseguenti tale verifica.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.3.2

La Figura 1.1., che illustra l'Approccio multilivello e le relazioni tra i livelli di analisi, indica, a seguito dell'ispezione di Livello 1, l'applicazione diretta del Livello 4 ("Valutazione accurata" di cui al § 6), nei casi i cui la valutazione di sicurezza sia espressamente prevista dalla NTC18.

Il § 8.3 delle NTC18 prevede espressamente che:

"La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;*
- *esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;*
- *ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4 [interventi di riparazione o locali; interventi di miglioramento, interventi di adeguamento];*
- *opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abilitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione."*

È evidente che la procedura multilivello, multiobiettivo, multirischio prevista dalle LLGG sia funzionale a determinare una classificazione ed una prioritizzazione, in funzione del rischio stesso, delle attività di competenza del gestore

proprio nei casi previsti dal primo punto previsto dalle NTC18. L'applicazione delle LLGG è quindi finalizzata, nel caso specifico dei ponti esistenti, a definire in maniera quantitativa, basandosi sulla valutazione del rischio e sull'acquisizione progressiva di conoscenze, la "riduzione evidente della capacità resistente etc ...", indicata in maniera generale dalle NTC.

La valutazione quantitativa si attua attraverso la valutazione accurata di cui al Livello 4, che si attiva direttamente, ai sensi delle NTC18, nei casi di grave pericolo, emergenza e urgenza che richiedono interventi immediati, oppure negli altri casi previsti dal § 8.3 delle NTC.

Infatti, per le opere classificate in CdA ALTA, fatti salvi i suddetti casi di grave pericolo, emergenza e urgenza che richiedono interventi immediati, il gestore procede alla programmazione delle verifiche di livello 4 e delle eventuali azioni conseguenti (compresa l'applicazione di provvedimenti gestionali di limitazione d'uso) come previsto all'istruzione operativa 4.6.1.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.3.3

Il § 1.5 delle LLGG (priorizzazione), ribadisce chiaramente *"... l'importanza di definire parametri e criteri, [...], che permettano di individuare le priorità con cui eseguire le attività di censimento, ispezione e classificazione, da avviare contestualmente al progredire di ciascuna attività."*

Tale principio, salvo i casi ovviamente di immediato comprovato rischio, è generale e si applica anche ai ponti per i quali, a seguito della procedura prevista dalle LLGG, si debba programmare la valutazione accurata di sicurezza e, in seguito agli esiti delle stesse, gli eventuali interventi.

Pertanto, in esito all'applicazione delle procedure previste dalle LLGG, è necessario che il gestore programmi e determini, nell'ambito delle proprie responsabilità, le priorità di valutazione e/o di intervento, sulla base di opportuni criteri ed analisi di rischio (intrinseco ed estrinseco) effettuate dal gestore stesso, delle conseguenze sulla circolazione e sull'esercizio dell'infrastruttura (ad esempio in termini di traffico ed incidentalità, anche indotte su reti non direttamente gestite e tenendo conto dei dati disponibili), oltre che in base alle risorse effettivamente a disposizione. Dette analisi di rischio devono condurre ad una razionale e motivata attuazione e programmazione delle azioni attuative delle LLGG, nell'ottica di una reale riduzione diffusa del rischio in regime di risorse limitate.

I criteri che i gestori adottano, nell'ambito della loro discrezionalità, competenza tecnica e conoscenza delle infrastrutture e delle reti da essi gestite, devono fare riferimento ai principi generali di analisi e gestione del rischio, ai Sistemi di Gestione della Sicurezza delle Infrastrutture Stradali e Autostradali (di cui alle Linee guida SGS-ISA emanate con Decreto Direttoriale ANSFISA del 22.04.2022), ai principi riportati nelle presenti LLGG, anche secondo indicazioni esemplificative che potranno essere adottate come elemento di maggiore uniformazione.

1.4 CENNI GENERALI SULLA VALUTAZIONE DELLA RILEVANZA TRASPORTISTICA

La **valutazione della rilevanza trasportistica e dei relativi impatti socioeconomici** non è trattata nelle presenti Linee Guida. Si riportano comunque nel seguito alcune indicazioni di carattere generale sulle modalità operative di realizzazione di tali studi.

Tale valutazione, da approfondirsi nel Livello 5 dell'approccio descritto, comprende la zonizzazione differenziata per la domanda passeggeri e merci e la realizzazione o acquisizione di studi, eventualmente esistenti, di assegnazione dei traffici passeggeri e merci e di stima degli indici di accessibilità attivi e passivi delle zone territoriali e dei siti caratterizzati da significativa concentrazione delle densità insediative e/o produttive e dei siti logistici.

Le campagne conoscitive sono finalizzate a stimare l'impatto in termini socioeconomici della funzionalità del manufatto, inteso quale elemento della rete di trasporto in grado di assicurare funzioni di collegamento ed accessibilità tra le zone del territorio, le sue attività ed i suoi siti di produzione, di consumo, logistici e di distribuzione. A tal fine occorre tenere in considerazione eventuali studi trasportistici facenti parte della documentazione originaria di progetto (analisi di domanda e risultati di assegnazioni di traffico, valutazioni di impatto socioeconomico, analisi B-C e/o multicriteria, ecc.) e/o disponibili presso enti di governo territoriale od altri soggetti verificando che le ipotesi su cui essi si fondano rimangano valide, che le trasformazioni territoriali e di insediamento delle attività siano trascurabili, che le reti non abbiano subito sostanziali variazioni e che i meccanismi di distribuzione del traffico e le configurazioni di accessibilità non siano sostanzialmente variati. Particolare importanza rivestono gli studi realizzati nell'ambito della attività di pianificazione dei trasporti a scala regionale e comunale (piani regionali dei trasporti, piani di bacino, piani comunali dei trasporti, piani di mobilità, studi di fattibilità, ecc.). I raffronti finalizzati a verificare la attualità ed utilizzabilità degli studi acquisibili devono essere accompagnati da eventuali sessioni temporanee di conteggio dei flussi che possano validare gli studi pregressi od evidenziare una loro necessità di aggiornamento. Occorre considerare sia la domanda passeggeri che la domanda merci. In ogni caso, è necessario esplicitare l'impatto dei manufatti in termini di assorbimento della aliquota di assegnazione relativa a diverse coppie origine-destinazione e di contributo alla accessibilità attiva e passiva delle zone di localizzazione delle attività residenziali commerciali e produttive.

Nel caso in cui le informazioni esistenti non siano in condizioni di fornire una visione completa, occorre integrare il quadro conoscitivo a partire proprio da quanto disponibile. L'integrazione deve avvenire utilizzando modelli comprendendo operazioni di delimitazione dell'area di influenza dei manufatti, di zonizzazione del territorio, di stima delle domande di mobilità delle persone e di trasporto delle merci, di calcolo delle percentuali di assegnazione assorbite dai manufatti e di stima del contributo degli stessi alle accessibilità attive e passive. La caratterizzazione dei modelli è supportata da indagini territoriali e sulla distribuzione delle attività, nonché dal rilievo di flussi di traffico (passeggeri e merci) da effettuare con l'ausilio di postazioni temporanee o di postazioni fisse già presenti sul territorio o da realizzare. Postazioni esistenti, da realizzare e temporanee possono essere utilizzate in maniera integrata e comunque in numero sufficiente da assicurare la accuratezza dei modelli.

All'interno del processo di acquisizione progressiva di conoscenza sono identificati livelli diversi di approfondimento; nello specifico:

- Analisi della rilevanza locale; analisi e informazioni su scala territoriale ristretta, finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità locali; i modelli devono riferire ad una rappresentazione comunale (subcomunale per i comuni principali ed a maggiore intensità di attività); i livelli di rete rappresentata comprendono quelli della mobilità comunale e locale.
- Analisi della rilevanza principale; analisi e informazioni su scala territoriale ampia, finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità e trasporto alla scala regionale ed intraregionale; a tale livello i modelli di riferimento devono avere dimensione estesa con dettaglio della rappresentazione a scala provinciale (comunale per le provincie principali ed a intensità di attività maggiore); i livelli di rete rappresentata comprendono quelli della mobilità regionale ed interregionale.
- Analisi di rilevanza strategica; finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità e trasporto con riferimento alla scala vasta dei traffici di livello nazionale o sovranazionale; a tale livello i modelli di riferimento devono avere dimensione territoriale ampia e dettaglio della zonizzazione e della rappresentazione delle reti riferito ai livelli gerarchici di rete superiori (zone ampie e reti di trasporto di gerarchia elevata).

1.5 PRIORIZZAZIONE DELLE ATTIVITA'

I diversi livelli di analisi non sono necessariamente da applicare in maniera sequenziale, poiché non occorre attendere il completamento delle attività previste in un livello per avviare quelle del livello successivo.

In particolare, l'attività di censimento di Livello 0 e l'accurata e completa raccolta di documentazione e informazioni di base sulle infrastrutture esistenti richiede inevitabilmente tempistiche lunghe, poco compatibili con la necessità e l'urgenza di conoscere e valutare, almeno visivamente, lo stato di conservazione delle opere. Occorre pertanto che, per facilitare e velocizzare l'organizzazione delle attività relative all'approccio multilivello proposto, i gestori stabiliscano un ordine, anche in assenza di tutte le informazioni da censimento, individuando le tratte viarie da analizzare prioritariamente.

A tal fine, è necessario analizzare gli aspetti legati alla viabilità e alle caratteristiche delle reti stradali sì da minimizzare le conseguenze di eventuali carenze strutturali su comunità ed economie locali.

Tra questi, occorre valutare il *volume di traffico*, considerando il Traffico Giornaliero Medio e gli eventuali *carichi eccezionali*, ritenendo prioritarie le tratte stradali considerate fondamentali per la circolazione veicolare, la cui chiusura potrebbe causare disagi rilevanti ad attività economiche e sociali, anche perché assenti adeguati percorsi alternativi e la *vetustà della tratta stradale*, funzione quindi del suo anno di realizzazione, tenendo ovviamente conto dei successivi interventi di manutenzione e rimodernamento.

Oltre a fattori prettamente legati alle caratteristiche delle reti stradali, occorre considerare le informazioni già disponibili sullo *stato di conservazione* delle opere, ottenute, ad esempio, da ispezioni periodiche pregresse o comunque note al gestore, in modo da dare maggiore priorità alle ispezioni alle tratte che includano opere per le quali è già stata segnalata la presenza di fenomeni di degrado o di possibili criticità.

In definitiva, si sottolinea l'importanza di definire parametri e criteri, quali quelli sopra citati o qualsiasi altro ritenuto significativo, che permettano di individuare le priorità con cui eseguire le attività di censimento, ispezione e classificazione, da avviare contestualmente al progredire di ciascuna attività.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.5.1

L'esecuzione del censimento e della raccolta di tutte le informazioni di possibile reperimento relative alle opere da analizzare è una delle fasi più importanti della metodologia multilivello proposta dalle LLGG. La quantità e la qualità dei dati raccolti influenzano infatti la buona riuscita del metodo e l'accuratezza nella determinazione della classe di attenzione.

Si riassumono di seguito le informazioni minime necessarie per la determinazione della classe di attenzione:

- per la **classe di attenzione strutturale-fondazionale e sismica**:
 1. Localizzazione ponte (Provincia/Regione, Comune, località, coordinate CTR, coordinate geografiche...);
 2. Tipologia strutturale;

3. Geometria dell'opera (lunghezza complessiva, luce massima delle campate, numero di campate, larghezza della carreggiata, numero di corsie);
4. Materiale dei principali elementi costituenti l'opera (pile, spalle, impalcato);
5. Periodo di costruzione;
6. Norma di progetto;
7. Tipologia di ente scavalcato (altra via di comunicazione, corso d'acqua, ferrovia, specchi d'acqua marini, discontinuità orografica, zona urbanizzata, zona edificata, altra via di comunicazione);
8. Dati di traffico: eventuali limiti relativi al transito dei veicoli, rilievi di traffico (traffico giornaliero medio) per mezzi leggeri e pesanti;
9. Informazioni relative alla strategicità dell'opera, come la presenza delle alternative stradali. Questa informazione è a capo del gestore, che deve quindi stabilire se la via in cui si trova l'opera è da definirsi strategica o meno.

Le prime sei categorie di informazioni raccolgono dati che devono essere necessariamente conosciuti prima dell'esecuzione dell'ispezione, in quanto preparano l'ispettore all'esecuzione dell'ispezione stessa e agevolano la compilazione delle schede di ispezione. Le informazioni di cui alle categorie 7 e 8 sono invece necessarie per la determinazione della classe di attenzione, quindi sebbene debbano essere necessariamente raccolte, è possibile farlo anche successivamente all'ispezione (comunque prima della determinazione della CdA), in quanto questo non pregiudica la bontà dell'esecuzione dell'ispezione *in situ*.

- Per la **classe di attenzione idraulica** (nel caso in cui l'ente scavalcato sia un corso d'acqua):
 1. Estratti mappe di rischio idraulico PGRA o PAI;
 2. Tipologia area possibile allagamento;
 3. Altezza impalcato dal fondo;
 4. Tipologia fondazione;
 5. Tipologia corso d'acqua:
 - a) principale / secondario;
 - b) confinato / semiconfinato / non confinato (da cartografica, modelli digitali del terreno, software web con riprese panoramiche stradali);
 - c) a canale singolo (rettilineo, sinuoso, meandriforme) / intrecciato (da cartografia, riprese aeree);
 - d) arginato / non arginato (da documentazione allegata al progetto del ponte, studi idraulici dell'Autorità di Distretto, da software web con riprese panoramiche stradali);
 - e) caratteristica del fondo alveo: in equilibrio / in fase evolutiva / fondo fisso / fondo mobile (da eventuali studi di Autorità di Distretto);
 6. Raccolta di informazioni che indichino insufficienza del franco idraulico per piene recenti;
 7. Raccolta informazioni che indichino eventuale presenza di fenomeni di erosione o di scalzamento delle fondazioni;
 8. Pericolosità dell'area (da mappe rischio idraulico da Autorità di Bacino (AdB) si verifica la presenza di pericolosità idraulica. Si valutano gli studi di AdB per determinare i criteri su cui è stato definito il rischio);
 9. Dati di modellazione idraulica AdB (si ricercano dati di modellazione AdB per corsi d'acqua non arginati);
 10. Dimensioni del bacino imbrifero (si determina la superficie del bacino imbrifero alla sezione di chiusura corrispondente alla posizione del ponte da cartografia o mediante software GIS).

È opportuno che le informazioni di cui alla categoria 6 siano acquisite prima dell'ispezione, per poi verificarle durante e a seguito dell'ispezione.

Nel caso in cui l'opera oggetto di indagine sia situata in area riconosciuta pericolosa PGRA o PAI, è possibile riscontrare le seguenti situazioni:

- il fenomeno è stato riconosciuto ma non ancora studiato (ad esempio, è presente una perimetrazione sulle mappe di rischio idraulico sulla base di dati storici);
- il fenomeno è stato riconosciuto e studiato (ad esempio, è presente una perimetrazione sulle mappe di rischio idraulico sulla base di specifici studi);
- il fenomeno è stato modellato ed è oggetto di monitoraggio (ad esempio, è presente una perimetrazione sulle mappe di rischio idraulico con specifica modellazione e completa di successivo monitoraggio);
- il fenomeno è oggetto di opere di mitigazione (ad esempio, opere di laminazione delle piene come vasche di espansione, scolmatori, ecc. a monte del ponte).

- Per la **classe di attenzione frane**:

1. Stralci cartografici, che possono essere utili per riscontrare la pericolosità dell'area. Infatti, potrebbero essere segnalati fenomeni franosi. È buona prassi consultare anche l'archivio comunale, gli Uffici dell'Autorità di Bacino e quelli della Protezione Civile Regionale. Un riferimento molto utile è l'Inventario dei fenomeni Franosi Italiani (IFFI).
2. Foto aeree.
3. Relazioni dati satellitari.
4. Relazioni monitoraggi idrogeologici, topografici e geotecnici.
5. Indagini geotecniche/geofisiche.
6. Progetti eseguiti di interventi mitigazione su spalle, fondazioni e versante.
7. Interventi di bonifica/ ripristino strutturale.
8. Eventuali note del gestore.

È importante inoltre verificare che il ponte non ricada in area riconosciuta pericolosa (in tal caso, il ponte necessita di ispezione speciale, § 3.6, appositamente mirata al pericolo individuato). Nell'area riconosciuta come pericolosa possono verificarsi le seguenti situazioni:

- il fenomeno è stato riconosciuto ma non ancora studiato (ad esempio, il fenomeno è rilevato sulla cartografia esistente o mediante il sopralluogo qualora si individuino segni di movimenti franosi);
- il fenomeno è stato riconosciuto e studiato (ad esempio, è presente una perimetrazione del fenomeno sulla base di specifici studi);
- il fenomeno è stato modellato ed è oggetto di monitoraggio (ad esempio, è presente una perimetrazione del fenomeno con specifica modellazione e completa di successivo monitoraggio);
- il fenomeno è oggetto di opere di mitigazione (ad esempio, sono presenti opere di contenimento o sostegno dei movimenti franosi).

Quale principio generale, già trattato, la pianificazione, programmazione e prioritizzazione dei conseguenti interventi deve essere decisa dal gestore, sulla base delle proprie necessità ed eventualmente sulla base delle informazioni reperite durante il livello 0.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.5.2

Si ricorda che, con riferimento alla pianificazione delle attività iniziali, in caso di assenza di un adeguato censimento iniziale delle opere, si potranno adottare criteri basati sui dati a scala territoriale (quali, ad esempio, carte di classificazione del rischio idraulico, frane, di pericolosità sismica; etc.), opportunamente combinati con criteri di ottimizzazione logistica e territoriale (per esempio a livello di tratta, dipendenti dalle strutture organizzative e risorse del gestore).

Nel caso in cui sia disponibile un censimento iniziale sufficientemente completo, nella prioritizzazione delle attività iniziali si potranno adottare, nell'ambito della autonomia organizzativa e procedurale del gestore, criteri basati su modelli previsionali delle classi di attenzione.

1.6 MODELLI INFORMATIVI

La classificazione e le azioni di verifica e monitoraggio delle infrastrutture, per essere efficaci, devono essere inserite in un quadro complessivo di gestione anche informativa delle opere che, tenendo conto delle effettive necessità e delle risorse disponibili, miri a garantire livelli di sicurezza adeguati al patrimonio infrastrutturale nazionale.

L'articolo 23, comma 13, del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, definisce le modalità di introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche. Tali metodi sono introdotti progressivamente con un orizzonte temporale di obbligatorietà al 2025 nell'ambito della realizzazione delle opere pubbliche.

Si raccomanda pertanto ai gestori, nell'ambito delle attività di classificazione, verifica e monitoraggio, l'adozione progressiva di modelli informativi dell'infrastruttura, ovvero l'insieme di contenitori di informazione strutturata e non strutturata, generata da tali strumenti digitali, che consentono una gestione efficace e trasparente del cespite attraverso l'utilizzo di ambienti di condivisione dati e piattaforme interoperabili dei dati, degli oggetti costruttivi e dei modelli informativi.

Tali modelli informativi, creati in un primo tempo nell'ambito della verifica strutturale approfondita (Livello 4), sulla base dei rilievi, delle prove materiche e dei monitoraggi effettuati ed in corso, possono costituire lo scheletro informativo dell'Archivio

Informatico Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP). Si raccomanda inoltre che detti modelli possano essere anche aggiornati in tempo reale, costituendo quindi un banca dati aggiornata per le necessarie azioni di *asset management*.

I gestori infine creano progressivamente una banca dati digitale aperta di tutti i ponti e viadotti, da rendere disponibile ai competenti uffici del Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, iniziando da quelle opere che presentano una classe di attenzione più alta e procedendo, gradualmente, verso la completa digitalizzazione delle infrastrutture di che trattasi.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.6.1

La creazione delle banche dati digitali e la progressiva digitalizzazione delle opere costituisce elemento fondamentale del processo complessivo di promozione della sicurezza, basato sulla conoscenza, obiettivo delle LLGG.

L'introduzione della digitalizzazione nei processi informativi delle costruzioni, ovvero un approccio digitale orientato al BIM, garantisce numerose potenzialità quali:

- una gestione efficace per la razionalizzazione delle informazioni storiche sui materiali;
- una gestione efficace per la collaborazione ispettiva/manutentiva;
- Una omogeneizzazione delle informazioni provenienti dai sistemi di sensoristica;
- una banca dati documentale e cronologica unica;
- una base dati adatta all'estrazione dei modelli di calcolo necessari;
- l'integrazione con l'eventuale ambiente di condivisione dati (ACDat) del gestore dell'opera;
- la disponibilità comparativa dei dati di rilievo;
- la possibilità di predisporre un modello 3D navigabile per integrazione in real time in cantiere;
- un generale miglioramento delle modalità di comunicazione, gestione e scambio di informazioni con i gestori dell'infrastruttura;

In accordo a quanto sopra espresso, ogni operazione relativa alle procedure di scambio dati deve essere dunque condotta, laddove possibile, in formato aperto e/o nelle varie alternative disponibili. Ciò tenendo conto che il processo deve risultare quanto più aperto possibile anche in relazione allo stato dell'arte disponibile. Nell'ambito BIM questo approccio metodologico è meglio noto come *openBIM*.

La gestione informativa digitale è importante anche al fine di:

- dare valore al bene pubblico perché le sue informazioni saranno rese più accessibili e con linguaggi interoperabili;
- garantire una più efficace analisi di valutazioni statistiche nazionali o europee;
- garantire la coerenza con la norma ISO EN 19650 che identifica la strutturazione del dato come AIM (Asset Information Model);
- definire attraverso i modelli informativi lo stato attuale dei luoghi utile all'avvio più efficiente di nuove attività progettuali (manutenzione, ristrutturazione, demolizione e ricostruzione);
- sfruttare le informazioni presenti nel modello informativo per realizzare, attraverso idonei strumenti indirizzati alla pre-generazione di un modello analitico parallelo al modello informativo BIM, di basi digitali utili alla definizione sia di modelli di calcolo strutturale sia di modelli numerici per analisi in ambito geotecnico.

E' essenziale che l'Ente proprietario, volendo introdurre un approccio digitale e ritenendo opportuno coinvolgere affidatari a supporto delle attività prescritte dalle presenti LLGG tenga conto della necessità di predisporre un adeguato Capitolato Informativo, il documento elaborato dalla committenza e consegnato ai possibili assegnatari della commessa, ha valore giuridico e contiene le 'esigenze e i requisiti informativi richiesti dal committente', ovvero tutte le informazioni che sono alla base di una buona collaborazione tra le diverse figure come previsto in genere in tutti gli standard nazionali e internazionali di riferimento e come richiesto dal DM n. 560/2017, aggiornato nel DM n.312/2022.

Il Capitolato Informativo regola la gestione informativa digitale della commessa individuandone le esigenze tecnologiche, tecniche ed organizzative; serve inoltre ad individuare gli obiettivi da perseguire nella gestione dei processi informativi, ad individuare a conoscere gli usi del BIM, a gestire la qualità, la quantità, i tempi e i destinatari e responsabili delle informazioni durante tutto il processo decisionale.

Nella prima fase i gestori inseriranno nella banca dati AINOP i dati ivi previsti e si atterranno alle disposizioni, in materia, delle Amministrazioni vigilanti.

Per tale obiettivo è opportuno che AINOP definisca la struttura del dato in termini di organizzazione e

classificazione strutturata delle informazioni, al fine di costituire un database informativo (composto di container informativi, grafici, non grafici, strutturati e documentali) indipendente nel suo utilizzo attuale e futuro da qualsiasi applicazione software specifica commerciale che ne limiterebbe la fruibilità.

Le Amministrazioni vigilanti si adopereranno affinché le diverse banche dati cooperino adeguatamente, evitando duplicazioni degli oneri informativi da parte dei gestori, anche attraverso la promozione di appropriati interventi legislativi di semplificazione e riordino del settore, particolarmente articolato e frastagliato

1.7 COMPETENZE DEGLI OPERATORI

Le attività ispettive e valutative previste dalle presenti Linee Guida saranno affidate a personale di adeguate competenze. I requisiti per la competenza degli operatori saranno definiti con regolamento emanato previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

1.8 LABORATORI DI PROVA

Ai fini delle applicazioni di cui alle presenti Linee Guida per le verifiche di sicurezza ed eventuale progettazione di interventi a seguito della definizione della Classe di attenzione, le prove distruttive sui materiali da costruzione di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC s.m.i., le prove di laboratorio sulle terre e sulle rocce di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7618/STC s.m.i. sono effettuate e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 e s.m.i., dotato di specifica autorizzazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 1.8.1

Si ricorda che, in coerenza con il parere n. 60/2024 della Prima Sezione del Consiglio superiore dei lavori pubblici, nell'ambito di quanto previsto dalle attività del Livello 4 delle Linee Guida, è obbligatorio, per l'applicazione dei dettami di tale livello, che tutte le prove di tipo distruttivo siano effettuate, con conseguente emissione di certificati da laboratori di cui al comma 1 e al comma 2 dell'art. 59 del DPR 380/2001 e s.m.i.; inoltre, secondo le modalità previste al § 8.5.3 delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni ed alla relativa Circolare n. 7/2019 C.S.II.pp., i prelievi dei campioni per le prove di cui alla Circolare 8 settembre 2010, n. 7617/STC o eventuali successive modifiche o integrazioni devono essere effettuate a cura dei medesimi laboratori.

Con riferimento ai precedenti livelli (Livello 0, Livello 1, Livello 2 e Livello 3), generalmente, non sono necessari il ricorso al prelievo di campioni e l'esecuzione di prove di laboratorio di tipo distruttivo; tuttavia, sarebbe auspicabile che, anche nell'ambito di dette procedure, le stesse, nonché i prelievi, qualora la valutazione delle caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei materiali avvenga attraverso l'esecuzione di prove di laboratorio su materiali o prodotti da costruzione ad uso strutturale, di prove di laboratorio su terre e rocce, di prove e controlli su materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti, fossero certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del DPR 380/2001 e s.m.i.

2. LIVELLO 0. CENSIMENTO DELLE OPERE

2.1 OBIETTIVI DEL CENSIMENTO

Il censimento dei ponti previsto dal Livello 0 dell'approccio multilivello consiste nel catalogare tutte le opere presenti sul territorio, al fine di conoscere il numero di strutture da gestire e le loro caratteristiche principali, sia in relazione a geometria ed elementi strutturali, sia relativamente alla rete stradale in cui sono inserite ed al sito in cui è ubicata.

La raccolta dei dati inerente il censimento da parte dei gestori permette altresì di creare un database dei ponti italiani, finalizzato a catalogare il vasto patrimonio infrastrutturale esistente. È importante che i dati siano aggiornati quando si acquisisce nuova documentazione.

Le informazioni raccolte nel censimento consentono altresì di suddividere i ponti in macro-classi ed individuare un ordine di priorità utile per programmare le ispezioni visive in situ e avviare le attività previste dal Livello 1 dell'approccio.

Inoltre, l'utilizzo dei dati raccolti nel censimento e le successive ispezioni visive sulle strutture (Livello 1) permettono di individuare i casi in cui è direttamente necessaria una verifica approfondita della sicurezza (prevista dal Livello 4), superando la fase di classificazione (Livello 2). Tali casi sono analizzati nel dettaglio nel § 3.5.

ISTRUZIONE OPERATIVA 2.1.1

L'ordine di priorità che è possibile definire per l'esecuzione delle ispezioni è da stabilirsi sulla base delle informazioni raccolte durante la fase di censimento (Livello 0) e sulla base delle eventuali esigenze del gestore. In qualsiasi caso, è il gestore, come responsabile della pianificazione, che identifica i criteri per la definizione dell'ordine di priorità. È evidente che il censimento delle opere costituisce primo e imprescindibile passo di ogni sistema di gestione della sicurezza di infrastrutture, e che pertanto ogni sforzo deve essere profuso dai gestori per il più rapido completamento del Livello 0.

2.2 MODALITÀ DI ACQUISIZIONE E DI RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

L'acquisizione dei dati contenuti nel censimento si esegue sulla base dell'analisi delle informazioni e della documentazione disponibile e dell'uso di sistemi di mappatura informatizzati.

Il reperimento della documentazione tecnica ed amministrativa inerente il ponte è un'operazione cruciale per raccogliere le informazioni necessarie per la successiva valutazione preliminare dei fattori di rischio. Si sottolinea pertanto l'importanza di eseguire una ricerca documentaria approfondita ed accurata, sia dei documenti prettamente tecnici (relativi a progetto, esecuzione, successivi interventi, ecc.) sia di documenti amministrativi, che consentono di ricostruire le vicende e le trasformazioni subite dall'opera nel corso degli anni. L'attendibilità dei dati reperiti è poi verificata nelle fasi successive di ispezione e rilievo in situ. Occorre porre anche attenzione al reperimento di eventuali dati esistenti inerenti la conoscenza del ruolo che il manufatto riveste all'interno del sistema di trasporto definendo la rilevanza del manufatto rispetto al soddisfacimento di bisogni di mobilità e trasporto e quindi dal punto di vista socioeconomico. A tal proposito occorre analizzare le reti stradali o di trasporto di appartenenza delle opere censite, relativamente a volumi e tipologia di traffico, oltre ad informazioni che permettono di stimare la presenza, lunghezza e percorribilità delle alternative stradali disponibili in caso di eventuali limitazioni o chiusure al transito dei veicoli sui ponti classificati. Tali informazioni possono essere acquisite, ad esempio, mediante raccolta dei risultati di studi trasportistici specifici già condotti o, in mancanza di questi, fornite dall'ente amministrativo di competenza.

Per ogni struttura è predisposta una "Scheda di censimento di Livello 0" (Allegato A), che consente di raccogliere le informazioni disponibili. La struttura della scheda e le informazioni contenute sono coerenti con quanto previsto al D.M. n. 430, 08.10.2019, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per la formazione dell'Archivio Informativo Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP).

ISTRUZIONE OPERATIVA 2.2.1

Nella geolocalizzazione è preferibile utilizzare le coordinate geografiche del sistema di riferimento geodetico nazionale ETRF2000 come previsto nel D.P.C.M. 10 novembre 2011.

ISTRUZIONE OPERATIVA 2.2.2

Chiarimenti sulla scheda di censimento di Livello 0

A valle delle esperienze acquisite nelle prime applicazioni delle Linee Guida, fatte salve le attività già svolte, la scheda di censimento, contenuta nell'Allegato A delle Linee Guida (3_All_A_Scheda_censimento_ponti.pdf), è stata integrata con alcuni campi, a corredo delle previsioni delle stesse Linee Guida, in modo da agevolare il lavoro dei gestori, anche in vista della informatizzazione dei dati e dei processi.

Ai fini di un più efficace censimento, le integrazioni non hanno apportato variazioni nei parametri, ma sono di natura funzionale e organizzativa, e rendono più efficace, sistematica e chiara la compilazione di tali schede di censimento in termini di:

- esplicitazione della nomenclatura e definizioni dei parametri presenti nella scheda di Livello 0, nel testo delle Linee Guida e nelle schede di Livello 1;
- integrazione dei parametri con quelli previsti dal sistema AINOP, in modo da consentire l'interoperabilità dei dati informatizzati;
- razionalizzazione dei dati da raccogliere nella scheda, tramite la separazione tra una sezione di dati obbligatori, ai fini della classificazione e della integrazione AINOP, e una sezione di "dati aggiuntivi" facoltativi in cui allocare i dati conoscitivi sul patrimonio infrastrutturale esistente, sulla base di una struttura dati omogenea condivisa a livello nazionale.

La versione dettagliata della scheda di censimento è riportata nell'"Allegato A_IO_Scheda_censimento.pdf" alle presenti Istruzioni Operative.

3. LIVELLO 1. ISPEZIONI VISIVE E SCHEDE DI DIFETTOSITÀ

3.1 MODALITÀ E FINALITÀ DELLE ISPEZIONI VISIVE

Il Livello 1 dell'approccio multilivello prevede l'esecuzione di ispezioni visive su tutte le opere presenti sul territorio e catalogate nel censimento di Livello 0.

Le ispezioni visive sono finalizzate a verificare l'attendibilità dei dati raccolti nel censimento di Livello 0, raccogliere ulteriori informazioni circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera in esame e del sito di costruzione e valutare, seppur in maniera speditiva e sommaria, il grado di conservazione delle strutture. Esse forniscono una "fotografia" ed una descrizione quanto più oggettiva possibile delle effettive condizioni dell'opera e dell'ambiente circostante, mediante un accurato rilievo fotografico, il rilievo geometrico e il rilievo dei principali fenomeni di degrado presenti.

Le ispezioni visive richiedono l'esame sia dell'estradosso sia dell'intradosso del ponte in ogni loro elemento in modo da avere una visibilità completa ed adeguata anche, ove opportuno, di vani chiusi quali cassoni o pile cave. A tal proposito, si consideri che l'accessibilità o l'ispezionabilità del ponte è talvolta limitata; è necessario, pertanto, assicurare, per quanto possibile, l'accesso al ponte in maniera più semplice ed agevole possibile e di garantirne, anche nel tempo, la completa ispezionabilità.

La strumentazione minima di base suggerita comprende semplici strumenti di misura per eseguire il rilievo geometrico della struttura, strumenti fotografici di prestazioni adeguate all'esecuzione di rilievi fotografici anche a distanza ed eventuali altri strumenti ritenuti utili per il rilievo.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.1.1

Per *ispezionabilità* di un'opera si intende la possibilità di visionare in modo opportuno tutti i suoi elementi costituenti, al fine di poterli identificare distintamente e poter adeguatamente compilare le schede previste per ogni tipologia di rischio. In qualsiasi caso, il gestore deve adoperarsi in modo da garantire la completa ispezionabilità dell'opera, rendendo agevoli e possibili all'ispettore tutte le operazioni previste durante le ispezioni. A questo proposito, durante la fase di censimento si suggerisce di verificare l'ispezionabilità dell'opera, in modo che il gestore possa prendere gli eventuali provvedimenti in merito.

3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI

In sede di ispezione visiva, oltre ad un accurato rilievo fotografico e ad un rilievo geometrico delle dimensioni principali dell'opera (laddove possibile), è eseguito il rilievo dello stato di conservazione della struttura, finalizzato ad individuare, evidenziare e segnalare, in apposite schede, i fenomeni di degrado ed i difetti presenti. La compilazione di schede permette di indicare la presenza di specifici fenomeni di degrado e l'intensità e l'estensione con cui essi si manifestano. Le indicazioni riportate sulle schede sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2.

Nell'Allegato B sono fornite le *schede di difettosità* da impiegare in fase di ispezione di Livello 1.

Le schede proposte nelle presenti linee guida sono state sviluppate assumendo come riferimenti principali le schede di valutazione disponibili in letteratura, integrandole e modificandole sulla base della letteratura tecnica e delle risultanze di numerose applicazioni a ponti esistenti.

Sono previste schede di difettosità differenziate per ogni tipologia di elementi costituenti il ponte e materiale di realizzazione (spalle in c.a., spalle in muratura, travi e traversi in c.a., ecc.).

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.1

A corredo della compilazione delle schede, è necessario rappresentare uno schema del ponte oggetto di indagine, in modo che ogni elemento strutturale sia identificato in maniera univoca, ad esempio, mediante un codice o una sigla, ed inserendo le direzioni principali dell'opera, in modo che ogni sua vista possa farvi riferimento ed essere contestualizzata.

Occorre compilare una scheda per ogni singolo elemento strutturale identificato. Ad esempio, occorre compilare una scheda per ogni trave di ogni campata, una per ogni pila, una per ogni spalla, una per ogni traverso di ogni campata, una per ogni apparecchio di appoggio, ecc.

Oltre alla compilazione delle schede e quindi dell'inserimento di tutti i dati contenuti in esse, a corredo dell'individuazione degli elementi e dello schema complessivo dell'opera, si suggerisce di rilevare la geometria di massima dell'opera, come ad esempio: luce delle campate, luce complessiva, luce massima e minima delle campate, dimensioni di massima degli elementi principali (da riscontrare con gli eventuali stralci di progetto reperiti durante il livello 0), quota dell'intradosso del ponte e tutte le informazioni relative alla classe di attenzione idraulica, come riportate nell'istruzione operativa al § 4.5.1.

La fase della conoscenza, come prevista dal Livello 0, è necessaria per una consapevole esecuzione dell'ispezione e formulazione del giudizio in merito alla difettosità dell'opera. Sulla base della quantità e qualità delle informazioni raccolte durante il Livello 0, è possibile affrontare l'ispezione con la giusta preparazione, anche riguardo, ad esempio, alle possibili tipologie di danneggiamento riscontrabili. La stessa considerazione può estendersi anche alla valutazione del livello di difettosità dell'opera (§ 4.2.2).

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.1bis

Chiarimenti sulle schede di difettosità

A valle delle esperienze acquisite nel periodo di prima applicazione, fatte salve le attività già svolte, le schede di difettosità da impiegare in fase di ispezione di Livello 1, contenute nell'Allegato B delle Linee Guida (6_All_B_Schede_difettosità.pdf), sono state dettagliate, quale corredo ove necessario, in modo da agevolare il lavoro sul campo, anche in vista della informatizzazione dei dati e dei processi.

La riorganizzazione non ha apportato modifiche ai parametri e alla metodologia di valutazione, ma ha introdotto integrazioni che rendono più efficace e chiara la compilazione, rendendo oltretutto i dati già raccolti con le schede precedenti completamente compatibili ed interoperabili.

Sono stati inoltre introdotti dettagli per elementi e componenti strutturali precedentemente non esplicitati, per i quali si era costretti ad adattare schede relative ad altri elementi.

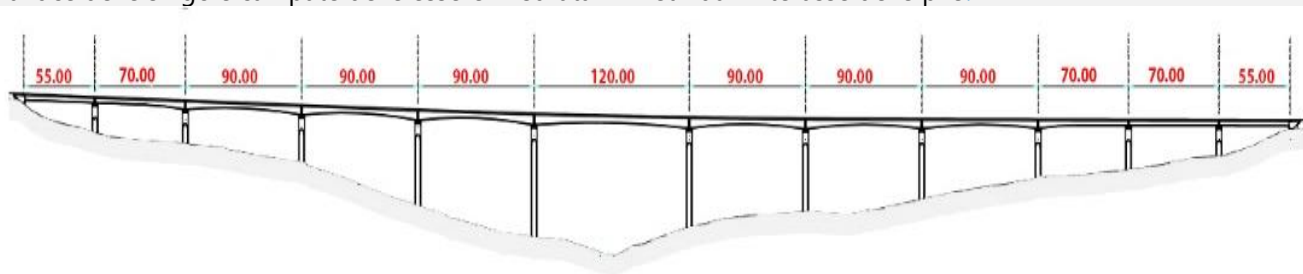
La versione dettagliata delle schede di difettosità è riportata nell'"Allegato B_IO_Nuove Schede_difettosità.pdf" alle presenti Istruzioni Operative.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.2

La luce complessiva dell'opera deve essere misurata in metri da considerando la distanza tra gli assi di appoggio o di imposta:



La luce delle singole campate deve essere misurata in metri dall'interasse delle pile:



Una scheda apposita è dedicata agli elementi accessori caratterizzanti la carreggiata stradale al di sopra del ponte. Questi non forniscono indicazioni circa "lo stato di salute strutturale" del ponte, ma incidono sull'onere complessivo degli interventi di manutenzione che interesseranno l'opera, anche in considerazione di quanto previsto dal D.Lgs. 15 marzo 2011, n. 35, riportante "Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture". Alcuni fenomeni di degrado, inoltre, sono strettamente correlati con il non idoneo funzionamento di uno o più elementi accessori; i fenomeni di degrado superficiale più frequenti, ad esempio, sono causati dalla mancanza o carenza di un efficace sistema di regimentazione delle acque meteoriche. È bene, pertanto, non trascurare il rilievo di tali elementi. Particolare attenzione deve essere posta al rilievo della tipologia e delle condizioni delle barriere a bordo ponte, specialmente al loro collegamento alla struttura di impalcato ed al loro effettivo stato di conservazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.3

Il rilevatore è tenuto anche a dare evidenza di situazioni di degrado degli elementi accessori.

Ogni scheda di difettosità riporta un elenco dei difetti tipici di quell'elemento e di quel determinato materiale, numerati con un codice alfa-numerico corrispondente a quello identificativo delle *schede di rilievo e valutazione dei difetti* in Allegato C.

Ad ognuno dei difetti è associato un peso (G), variabile da 1 a 5: difetti meno gravi hanno peso 1, i difetti più gravi hanno peso 5. I difetti con peso 5 sono evidenziati sulle schede, al fine di rimarcare la necessità di eseguirne un rilievo accurato. La loro presenza, infatti, potrebbe essere indice di rilevanti e/o immediati problemi strutturali e, pertanto, si considerano particolarmente influenti sulla determinazione del livello di difettosità.

Inoltre, in corrispondenza dei soli difetti di gravità più elevata (di peso $G = 4$ e $G = 5$) è presente la possibilità di segnalare il caso in cui la presenza di tale difetto possa pregiudicare la statica dell'opera e rappresentare un rischio rilevante (casella "PS").

Nell'intestazione di ogni scheda di rilievo, per ciascun elemento, è necessario indicare:

- la localizzazione del ponte mediante l'indicazione toponomastica o la denominazione della strada servita e la progressiva chilometrica;
- l'elemento a cui la scheda (N) è riferita e un riferimento utile per identificarne la posizione nell'insieme strutturale del medesimo;
- la data di ispezione e il tecnico che l'ha svolta.

Per ogni difetto, è necessario indicare se esso è stato oggetto o meno di indagine, segnalandolo grazie all'apposita casella nella colonna "visto". Nel caso in cui il difetto sia rilevato sulla struttura, occorre indicarne l'estensione, mediante il coefficiente k_1 variabile da 0,2 e 1,0, e l'intensità, mediante il coefficiente k_2 , anch'esso variabile tra 0,2 e 1,0. I valori che possono assumere i due coefficienti sono indicati nelle *schede di rilievo e valutazione dei difetti* (Allegato C).

Nel caso in cui il difetto elencato nella scheda non sia rilevato sulla struttura, occorre segnalarlo mediante:

- la casella NA nel caso in cui il difetto non sia applicabile alla tipologia di manufatto ed elemento in esame;
- la casella NR se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. per presenza di vegetazione invasiva, zone non accessibili, ecc.);
- la casella NP se il difetto non è effettivamente presente.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.4

Per ogni elemento indagato, oltre alla compilazione della scheda di difettosità, è necessario che sia ben definita la posizione e l'estensione dei difetti rilevati, ad esempio mediante uno schema grafico, a cui associare un dettagliato rilievo fotografico, per quanto possibile referenziato rispetto alla struttura.

Questo al fine di tener traccia delle eventuali evoluzioni di difetti o fenomeni di degrado, constatabili nelle future ispezioni.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.5

Si ricorda che la compilazione della scheda è completa se tutti i possibili difetti contemplati per la tipologia di elemento sono stati oggetto di indagine, cioè:

- se il difetto è presente, viene valutato in termini di estensione e intensità (k_1 e k_2);
- se il difetto non è presente, si spunta NA o NP;
- se il difetto non è rilevabile, si spunta NR.

La casella "visto" viene spuntata al termine delle suddette valutazioni, a conferma della completezza della disamina di ciascun difetto.

Nella colonna "N° foto" si riporta la numerazione digitale delle foto effettuate allo specifico difetto. Queste ultime sono adeguatamente catalogate, numerate e provviste di didascalie, riportanti la tipologia di difetto che si intende rappresentare e la sua localizzazione nel complesso strutturale.

Infine, in ogni scheda è presente un apposito spazio per riportare eventuali note e osservazioni. Si sottolinea l'importanza di acquisire il maggior numero possibile di dati in sede di ispezione, pertanto è bene avere l'accortezza di segnalare qualsiasi ulteriore informazione utile anche se non espressamente indicata nelle schede.

Oltre alle schede di rilievo della difettosità, per ogni ponte, occorre compilare la *scheda descrittiva di ispezione* (Allegato B) con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima e così via. Le informazioni raccolte in tale scheda sono utili per verificare l'affidabilità dei dati raccolti nel censimento iniziale e per incrementare la conoscenza del manufatto in esame. Si sottolinea, inoltre, che nella *scheda descrittiva di ispezione* vi è un'apposita sezione dedicata al rilievo degli

elementi critici, definiti al § 3.3, particolarmente influenti nella definizione del livello di difettosità attuale e, di conseguenza, della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica, come specificato ai § 4.2.2 e § 4.3.3.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.2.6

Chiarimenti sulla scheda descrittiva di ispezione

A valle delle esperienze acquisite nel periodo di prima applicazione delle Linee Guida, fatte salve le attività già svolte, la scheda descrittiva di ispezione, contenuta nell'Allegato B delle Linee Guida (*4_All_B_Scheda_descr_di_ispezione.pdf*), è stata dettagliata in modo da agevolare, ove necessario, il lavoro dei gestori, anche in vista della informatizzazione dei dati e dei processi. Le revisioni non hanno apportato variazioni nei parametri e informazioni contenuti nella scheda, ma hanno implementato modifiche di natura funzionale e organizzativa, rendendo i dati già raccolti completamente compatibili ed interoperabili e ottenendo una più efficace, sistematica e chiara compilazione in termini di:

- esplicitazione della nomenclatura e definizioni dei parametri presenti nella scheda di Livello 0, nel testo delle Linee Guida e nelle schede di Livello 1;
- razionalizzazione dei dati da raccogliere nella scheda, tramite la separazione tra una sezione di *"dati fissi"*, che non subiscono variazioni nel tempo, provenienti dalla Scheda di Censimento o da compilare durante la prima ispezione dell'opera, e una sezione di *"dati variabili"*, la cui rilevazione deve essere aggiornata nel tempo, da compilare durante le ispezioni periodiche dell'opera.

La versione dettagliata della scheda descrittiva di ispezione è riportata nell'*"Allegato B_IO_Scheda descrittiva di ispezione v2.0".pdf* alle presenti Istruzioni Operative.

3.3 DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI

L'ispezione visiva in situ e la compilazione delle schede di difettosità permette di individuare la presenza di "elementi critici", indicando con tale termine gli elementi particolarmente soggetti ai fenomeni di degrado e i cui eventuali malfunzionamenti possono incidere significativamente sul comportamento strutturale globale del ponte, ovvero gli elementi o le condizioni per i quali la presenza di uno stato di degrado avanzato è da segnalare immediatamente.

Gli elementi critici dipendono dalla tipologia strutturale del ponte in esame. A titolo di esempio, sono considerati elementi critici o condizioni critiche ai fini della determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale (§ 4.2) le selle Gerber, i cavi da precompressione, quadri fessurativi molto estesi ed intensi, meccanismi di incipiente perdita di appoggio o cinematismi in atto, giunzioni di elementi chiave per la staticità del ponte, scalzamento delle fondazioni. In particolare, si sottolinea l'importanza di ispezionare visivamente gli elementi critici, laddove possibile, o altrimenti di segnalare l'impossibilità della loro ispezione diretta e quindi la mancata completa valutazione delle loro condizioni di conservazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.3.0

Chiarimenti sul termine "elemento critico" di cui al § 3.3 delle Linee Guida

Si chiarisce che la definizione "elemento critico" di cui al § 3.3 delle Linee Guida è riferita alla connotazione tipologica di un elemento/componente strutturale e alla sua predisposizione ai fenomeni di degrado ma non corrisponde all'effettivo stato di conservazione rilevato.

Tra gli elementi critici, per cavi di acciaio ad alto tenore di carbonio (come richiamati nell'istruzione operativa 4.2.2.1) possono intendersi i cavi di precompressione.

La "condizione critica", invece, è associata alla presenza di un quadro difettologico rilevato che può comportare la compromissione della statica dell'opera o di una sua parte.

Analogamente, ai fini della determinazione della classe di attenzione sismica (§ 4.3), si considerano elementi critici apparecchi di appoggio molto degradati o danneggiati, sottostrutture caratterizzate da difettosità estesa e rilevante ai fini del comportamento sismico e, ancora, meccanismi di incipiente perdita di appoggio o cinematismi in atto.

A quelli sovra citati, si aggiungono tutti gli elementi o le condizioni che, secondo il tecnico incaricato dell'ispezione, necessitano di particolare attenzione e richiedono provvedimenti immediati.

Ove l'ispezione possa non essere completa e non siano stati ispezionati elementi critici (selle Gerber, appoggi, cavi di precompressione, fondazioni scalzate, ecc.), questo va segnalato all'atto di classificazione dell'opera. Il gestore dovrà riclassificare l'opera a seguito di un'ispezione speciale tesa alla valutazione dello stato di conservazione di tali elementi.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.3.1

La condizione di criticità di un elemento, come indicato nel testo delle LLGG, può essere individuata anche da un'incipiente perdita di appoggio dell'impalcato su una pila, o una spalla, che può verificarsi, ad esempio, a causa di movimenti della struttura dovuti a frane o cedimenti in atto. Tale condizione può essere segnalata nella scheda di ispezione generale intitolata "Schede descrittive di ispezione di Livello 1" all'interno della tabella "Elementi Critici".

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.3.2

Le ispezioni "speciali" alle quali si fa riferimento sopra per constatare lo stato di conservazione degli elementi critici non sono da confondersi con le ispezioni speciali da eseguirsi per i ponti c.a.p. a cavi post tesi ed in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, come definite ed illustrate al § 3.6.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.3.3

Si ricorda che, nel caso in cui durante le fasi di censimento e ispezioni visive non sia stato possibile identificare la tipologia del sistema di precompressione (a cavi pre-tesi, a cavi post-tesi o presenza di entrambe le tecnologie nel medesimo elemento) degli elementi dell'impalcato, è necessario eseguire approfondimenti per la sua identificazione. In funzione degli esiti di tali approfondimenti, il gestore può eventualmente ridefinire la tipologia ed effettuare conseguentemente, se necessario, le ispezioni speciali di cui al § 3.6.

3.4 SCHEDA FRANE E IDRAULICA

In sede di ispezione visiva, sulla scorta della documentazione reperita al Livello 0 e di un accurato esame dell'area sulla quale sorge il ponte, tecnici adeguatamente formati sono chiamati a valutare componenti primarie e secondarie atte a definire la Classe di Attenzione nei riguardi di potenziali eventi franosi e/o alluvionali.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.4.1

Come indicato in § 1.3 al livello 1 occorre eseguire ispezioni visive e rilievi speditivi. L'esame dell'area sulla quale sorge il ponte è definito accurato se consente l'acquisizione delle informazioni necessarie alla compilazione delle schede di Livello 1 e l'eventuale segnalazione della necessità di procedere alle ispezioni speciali di cui al § 3.6.

Dette componenti sono individuate e raccolte in un'apposita *Scheda "Frane e idraulica"* (Allegato B), da compilare e allegare alle schede di difettosità strutturale.

Come dettagliatamente descritto al § 4.4, gli elementi costituenti la scheda, per la parte relativa alle frane, sono correlati alle tre componenti della Classe di Attenzione: pericolosità/suscettibilità, vulnerabilità, esposizione. Per la **suscettibilità** sono individuati tre componenti primarie:

1. la magnitudo della potenziale frana, intesa come volume mobilizzabile,
2. la sua potenziale massima velocità di spostamento,
3. il suo stato di attività,

che valutano il livello di instabilità di versante (cinque livelli, da basso ad alto). Quest'ultimo è poi corretto in funzione di due componenti secondarie, rispettivamente relativi al grado di affidabilità della valutazione e alla presenza – o meno – di misure di mitigazione e di controllo.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.4.2

Si sottolinea inoltre che, a differenza dell'usuale nomenclatura impiegata per la definizione degli altri tipi di Classi di Attenzione analizzate, si adotta il termine "suscettibilità" piuttosto che "pericolosità"; in tal modo, viste le difficoltà intrinseche alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento, si vuole far riferimento alla sola previsione spaziale, trascurando la previsione di tipo temporale.

La **vulnerabilità** è stimata sulla base della tipologia strutturale (es: struttura iperstatica vs. isostatica) e dell'estensione dell'interferenza, che può interessare l'intera struttura o solo parte di essa, nonché della tipologia delle fondazioni.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.4.3

Si precisa che la classe di esposizione dipende dal livello di Traffico Giornaliero Medio, dalla presenza di alternative stradali, dalla tipologia di ente scavalcato e dalla strategicità dell'opera.

L'esame accurato dell'area deve al contempo consentire l'individuazione – relativamente agli elementi naturali – di eventuali problematiche di “carattere idraulico”, individuando innanzitutto i meccanismi di natura idraulica che potrebbero interessare l'area. In particolare, come meglio dettagliato nel § 4.5, è necessario disporre di una procedura per la valutazione speditiva del franco idraulico e di eventuali riduzioni di sezione dell'alveo dovute a fenomeni erosivi, al fine di dedurre la **pericolosità/suscettibilità** associata al ponte, oltre che valutare la presenza di particolari condizioni che contribuiscono ad incrementare la **vulnerabilità** del ponte ai fenomeni idraulici.

Il livello di **esposizione** al rischio idraulico, infine, porta alla valutazione delle potenziali conseguenze negative di future alluvioni – oltre che per la struttura interessata – anche quali conseguenze indotte (inondazione).

Occorre inoltre considerare, quando rilevante, la possibile interazione tra due distinte opere d'arte.

La scheda di rilievo contiene quindi tutte le indicazioni necessarie per la stima dei fattori influenti per la determinazione della classe di attenzione frane e della classe di attenzione idraulica, meglio dettagliati nei § 4.4 e § 4.5, rispettivamente.

3.5 CASI IN CUI SONO NECESSARIE VALUTAZIONI ACCURATE E DI DETTAGLIO: DAL LIVELLO 1 AL LIVELLO 4

I dati raccolti nel censimento delle opere di Livello 0 e acquisiti durante le ispezioni di Livello 1 permettono di identificare i casi nei quali è richiesta l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello e che, quindi, non sono oggetto di classificazione.

Tali casi sono essenzialmente i seguenti:

- casi in cui è necessaria la valutazione della sicurezza secondo le Norme Tecniche al Cap. 8.3 “VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA”, per quanto applicabile ai ponti esistenti;
- opere caratterizzate da elevata “fragilità” intrinseca, per le quali una variazione, anche minima, delle caratteristiche strutturali compromette i meccanismi resistenti per i quali sono stati progettati e non garantisce il comportamento strutturale originario previsto, portando a situazioni di crisi di tipo fragile. È il caso, ad esempio, dei ponti a giunti in c.a.p., in cui la trasmissione a taglio tra i conci avviene grazie allo sviluppo di attrito tra i conci stessi.

In ogni caso, tale possibilità si considera valida ogni qualvolta si ritiene necessario ed utile un approfondimento immediato delle indagini e una valutazione di rischio accurata.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.5.1

L'approfondimento della conoscenza della struttura, come l'esecuzione di indagini per la caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali, è certamente previsto per i ponti in classe di attenzione alta che saranno ulteriormente ed accuratamente valutati mediante il Livello 4.

In qualsiasi caso, il gestore, una volta completata la sequenza di azioni previste dall'applicazione delle LLGG ha facoltà di poter successivamente approfondire il livello di conoscenza dell'opera e quindi eseguire ulteriori indagini accurate anche per ponti per i quali tali indagini non risultano prioritariamente e strettamente necessarie ai fini dell'applicazione del metodo previsto dalle LLGG.

3.6 ISPEZIONI SPECIALI

Nel caso di ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi resi aderenti, nel seguito indicati come ponti in c.a.p. a cavi post-tesi, e ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, con evidenze di possibile interferenza con la struttura, occorre eseguire delle ispezioni speciali atte a verificare la necessità di procedere con l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio di Livello 4. Nella pianificazione delle ispezioni speciali, priorità deve essere data ai ponti in c.a.p. a cavi post-tesi la cui costruzione risale agli anni '60/'70 e comunque a quelli per cui si rileva un avanzato e rilevante stato di degrado.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.0

Chiarimenti sulla scheda per le ispezioni speciali su ponti in c.a.p. a cavi scorrevoli

A supporto dell'esecuzione delle ispezioni speciali, fatte salve le attività già svolte, è stata dettagliata la scheda per la raccolta dei dati relativi, contenuta nell'allegato D delle Linee Guida (*8_All_D_Scheda_ispezione_speciale.pdf*), a corredo di quanto nelle stesse definito.

La versione dettagliata della suddetta scheda è riportata nell'“*Allegato D_IO_Scheda ispezioni speciali ponti cavi post-tesi.pdf*” alle presenti Istruzioni Operative.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.1

Le ispezioni speciali dei ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali ed erosionali di cui al punto precedente riguardano:

- i ponti che hanno subito un evento alluvionale recente (ultimi 5 anni) che, come risultato da informazioni testimoniali e/o da tracce dell'evento di piena sulla struttura o sulle sponde, ha prodotto un franco inferiore a 1 m per strade comunali e provinciali, 2 m per strade statali o superiori, soprattutto se in presenza di materiale vegetale o di sovralluvionamento dell'alveo;
- i ponti le cui interferenze con i fenomeni di piena dei corsi d'acqua hanno provocato fenomeni erosivi tali da far temere una significativa perdita della capacità portante dell'insieme fondazione/terreno.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.1bis

Si ricorda che nei “fenomeni alluvionali”, in riferimento ai quali occorre eseguire le ispezioni speciali, possono intendersi ricompresi gli episodi di piena che abbiano comportato insufficienza di franco secondo quanto riportato nell'Istruzione Operativa 3.6.1.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.1ter

Si ricorda altresì che nei “fenomeni erosionali”, in riferimento ai quali occorre eseguire le ispezioni speciali, possono intendersi ricompresi anche quelli che producono evidenze di erosione spondale nei tratti a monte e a valle del ponte nonché di divagazione planimetrica dell'alveo, anche in base all'analisi di immagini aeree storiche, segni di scalzamento o danneggiamento di eventuali strutture di stabilizzazione dell'alveo e protezione spondale (come muri, scogliere, pennelli, ecc.).

I ponti di calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi sono strutture particolarmente critiche, in quanto né le tecniche di indagine convenzionali e ancor meno le ispezioni visive consentono di fornire un quadro conoscitivo adeguato sulle loro reali condizioni di degrado. D'altro canto, il degrado del calcestruzzo e la corrosione dell'armatura di precompressione possono generare importanti problemi di affidabilità, compromettendo l'effettiva capacità portante della struttura. Occorre pertanto eseguire ispezioni speciali secondo le modalità operative descritte nel dettaglio al § 7.4.3.1; esse sono mirate all'individuazione del tracciato dei cavi e alla localizzazione di eventuali vuoti o difetti mediante la raccolta dei documenti originari di progetto e la redazione ed esecuzione di un piano di indagini non distruttive (ad esempio indagini pacometriche, Indagini Georadar, Tomografie ultrasoniche, tecniche di Impact-Echo, tecniche di indagine basate sul metodo di dispersione del flusso magnetico (MFL – Magnetic Flux Leakage), metodi elettrochimici di misura del potenziale di corrosione) e alla valutazione del grado di difettosità mediante la progettazione ed esecuzione di un piano di indagini semi-distruttive (ad esempio prove endoscopiche, prove vacuometriche, saggi localmente distruttivi, valutazione dello stato di tensione del filo o del calcestruzzo, prelievo di materiale di iniezione su cui eseguire prove chimiche).

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.2

Le ispezioni speciali dei ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali dovranno prevedere approfondimenti di carattere idraulico volte alla determinazione di affidabili valori dei livelli del pelo libero relativi agli scenari P2 e P3. Le ispezioni speciali riguardanti ponti con presenza di fenomeni erosivi saranno volte a rilevare eventuali cavità o aree a ridotta densità della porzione di terreno soggetto a stato tensionale per effetto della presenza della struttura. In entrambi i casi dovranno essere previste misure in continuo o a cadenze regolari delle batimetriche in corrispondenza del ponte.

Qualora le indagini svolte evidenzino fenomeni e/o difetti rilevanti, quali importanti stati di corrosione o rotture, anche parziali, dei cavi da precompressione, o nel caso in cui si ritenga che le ispezioni speciali non siano sufficienti a definire con adeguato grado di affidabilità lo stato di conservazione generale dell'opera ed il quadro completo dei difetti, occorre procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, assumendo come riferimento la parte delle presenti linee guida ad esse dedicate. Dove ritenuto necessario, occorre comunque prevedere immediati interventi di correzione dei difetti di iniezione e ripristino.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.2bis

Allo stato attuale, per l'esecuzione delle ispezioni speciali in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali ed erosionali e la gestione dei relativi risultati, in assenza di specifiche indicazioni, si possono assumere quale utile riferimento lo schema e le procedure riportati nell'allegato F "Ispezioni Speciali e Valutazione preliminare L3 per il rischio idraulico" alle presenti Istruzioni Operative. Analogamente, nell'"Allegato E_IO_Scheda Indicatori Ispezione Speciale Idraulica" si fornisce un utile riferimento da adottare per le ispezioni speciali idrauliche, da verificare in relazione alle effettive situazioni locali di impiego.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.3

Qualora le indagini svolte evidenzino insufficienza di franco idraulico al deflusso di portate almeno centennali si dovrà procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, assumendo come riferimento la parte delle presenti linee guida ad esse dedicate.

Qualora le indagini svolte evidenzino la presenza di cavità e/o aree a ridotta densità nella porzione di terreno che influenza la capacità portante si dovrà parimenti procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello. Dove ritenuto necessario, occorre comunque prevedere immediati interventi di correzione dei difetti e di ripristino.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.3bis

Allo stato attuale, in assenza di specifiche indicazioni, si può assumere quale utile riferimento che, nel caso in cui l'esito dell'ispezione speciale relativa ai fenomeni idraulici e della valutazione intermedia ad essa associata non conduca a verifica accurata complessiva (L4) e occorra procedere all'assegnazione della classe di attenzione idraulica, la classificazione del rischio idraulico può essere effettuata secondo i criteri riportati nelle tabelle sottostanti.

Classe di attenzione per il fenomeno di sormonto

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Condizione	$F_{P2} > 3 \text{ m}$	Bassa				
	$1,5 \text{ m} < F_{P2} \leq 3 \text{ m}$	Medio-Bassa		Bassa		
	$0,8 < F_{P2} \leq 1,5 \text{ m}$	Medio-Alta	Media			
	Altrimenti	Alta				

Guardando alla lista delle Condizioni, partendo dall'alto, si individua la prima condizione che risulta soddisfatta e la si incrocia, nella tabella, con la Classe di esposizione dell'opera. Si ottiene quindi la Classe di Attenzione per fenomeni di sormonto.

Classe di attenzione per i fenomeni erosivi

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Condizione	Fondazione equivalente a roccia	Bassa				
	Protezioni di fondo efficienti	Media				
	Protezioni di fondo in condizioni critiche	Alta				
	$d_s/d_f > 1,20$	Alta				
	$1,00 < d_s/d_f \leq 1,20$	Alta	Medio-Alta			Media
	$0,80 \leq d_s/d_f \leq 1,00$	Medio-Alta	Media			
	$0,60 \leq d_s/d_f < 0,80$	Media		Medio-Bassa		Bassa
	$d_s/d_f < 0,60$	Medio-Bassa		Bassa		
	Fondazione incognita	Alta				

Guardando alla lista delle Condizioni, partendo dall'alto, si individua la prima condizione che risulta soddisfatta e la si incrocia, nella tabella, con la Classe di esposizione dell'opera. Si ottiene quindi la Classe di Attenzione per fenomeni erosivi.

Nota: Il calcolo di d_s comprende anche la componente derivante dall'erosione per contrazione.

Se, invece, non si evidenziano condizioni con difettosità di elevata entità che richiedano analisi accurate e provvedimenti immediati, i ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi sono soggetti all'analisi di Livello 1 per la redazione delle schede di difettosità (se non già effettuata contestualmente all'ispezione speciale) e quindi ai metodi di classificazione previsti dal Livello 2 dell'approccio multilivello, al pari delle altre categorie di ponti, stimando quindi le classi di attenzione ad essi associate e calibrando di conseguenza l'approfondimento e le tempistiche delle operazioni di ispezione periodica, monitoraggio e verifica.

In quest'ultimo caso, i risultati delle indagini effettuate nell'ambito delle ispezioni speciali sono ovviamente tenuti in debito conto nella stima del livello di difettosità della struttura a Livello 1.

Tutte le attività svolte nell'ambito delle ispezioni speciali sui ponti di c.a.p. a cavi post-tesi, nonché i risultati ottenuti, sono descritte e dettagliate mediante le apposite schede di ispezione predisposte e allegate al presente documento (Allegato D).

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.4

Nel caso di ponti ricadenti in aree ad evidenza di è necessario procedere alle ispezioni speciali. Tali ispezioni devono consentire di stabilire l'esistenza di uno stato di sofferenza dell'infrastruttura che si possa ricollegare alla interazione con il fenomeno franoso. In particolare, le informazioni acquisibili mediante le ispezioni visive di Livello 1 dovranno essere integrate ad esempio con approfondimenti documentali, con prove in sito o con l'elaborazione di dati satellitari disponibili per l'area.

Nel caso in cui questo supplemento di indagine riveli l'esistenza di un significativo stato di sofferenza del ponte nel fenomeno franoso si procede con l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio di Livello 4. Qualora ciò non si verifichi, si procede, tenendo conto delle informazioni così acquisite, alla valutazione dei parametri primari e secondari relativi al rischio frane per l'assegnazione della CdA frane.

ISTRUZIONE OPERATIVA 3.6.5

Ispezioni speciali per i ponti ricadenti in aree ad evidenza di fenomeni franosi

Si ricorda che in aree con evidenze di fenomeni franosi (accertati o potenziali) o in aree riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, è utile procedere con l'esecuzione delle Ispezioni Speciali Frane, nei casi in cui ci sia incertezza nella valutazione:

- della presenza di frane potenziali (tra cui sono ricompresi anche i movimenti franosi superficiali indotti da pioggia che non presentano segni premonitori);
- della estensione o del volume della frana;
- dello spessore della copertura e/o profondità del bedrock;
- dell'estensione dell'interferenza frana-ponte;
- della velocità attribuita al fenomeno individuato;

oppure nei seguenti casi:

- ponti interagenti con frane stabilizzate mediante opere di mitigazione/stabilizzazione;
- presenza di segnali strutturali presumibilmente riconducibili ad un'interazione ponte/frana;
- presenza di possibili aree sorgenti relative a fenomeni caratterizzati da velocità rapide/estremamente rapide.

In assenza di specifiche indicazioni, nell'allegato "*D_I.O. Scheda Ispezione Speciale frane.pdf*" alle presenti Istruzioni Operative, si fornisce un utile riferimento per l'esecuzione delle ispezioni speciali in aree con evidenze di fenomeni franosi, da verificare in relazione alle effettive situazioni locali di impiego.

4. LIVELLO 2. ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE

La classificazione dei ponti su scala territoriale consiste nella stima, semplificata e speditiva, dei fattori di “rischio” associati ai manufatti, censiti ed ispezionati nei livelli precedenti.

Il rischio associato ai ponti è stimato in modo approssimato mediante la *Classe di Attenzione* (CdA). Si ritiene, infatti, fuorviante parlare di rischio vero e proprio, in quanto la sua analisi richiede valutazioni ed indagini più complesse ed approfondite rispetto a quelle semplici e speditive previste dal Livello 2 e non può basarsi sulle sole informazioni raccolte mediante ispezioni visive. La classe di attenzione è, invece, una stima approssimata dei fattori di rischio, utile per la definizione di un ordine di priorità per l’approfondimento delle indagini/verifiche/controlli nonché per la programmazione degli interventi manutentivi e strutturali necessari.

La presente Linea Guida prevede 5 Classi di Attenzione:

- Classe Alta
- Classe Media-Alta
- Classe Media
- Classe Medio-Bassa
- Classe Bassa

Il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell’esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, effettuata elaborando i risultati scaturiti dalle ispezioni visive. In ogni caso, la Classe di Attenzione determinata non può essere inferiore a CdA Bassa e superiore a CdA Alta.

Nello specifico occorre innanzitutto specificare quali sono i rischi considerati rilevanti per le strutture da ponte considerando le loro peculiarità e quelle dei contesti in cui esse sono generalmente inserite. Anche in considerazione dei diversi periodi di ritorno e della diversa natura delle azioni preponderanti da cui esse dipendono, risulta conveniente distinguere quattro tipologie di rischio:

- Rischio strutturale e fondazionale;
- Rischio sismico;
- Rischio frane;
- Rischio idraulico.

È dunque utile e necessario analizzare i rischi rilevanti in maniera separata ed indipendente, definendo un metodo di classificazione e, quindi, una Classe di Attenzione diversa per ognuno di essi distinguendo:

- Classe di Attenzione strutturale e fondazionale;
- Classe di Attenzione sismica;
- Classe di Attenzione frane;
- Classe di Attenzione idraulica.

I metodi con cui sono valutati e, di conseguenza, classificate le diverse CdA si basano su regole e approcci comuni. I parametri che le definiscono sono invece differenti e scelti tra quelli ritenuti maggiormente rilevanti per le diverse tipologie di rischio considerate.

Note le CdA associate ai rischi rilevanti, esse sono poi combinate tra loro (come descritto al § 4.6) in modo da ottenere la CdA complessiva del ponte, su cui basare le successive azioni da intraprendere così come illustrato sinteticamente in Figura 1.1.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.1

Il presente capitolo propone un metodo speditivo per la valutazione del rischio, inteso come possibilità di subire “perdite” di differente natura a seguito della mancata o ridotta funzionalità dell’opera nei confronti degli obiettivi prefissati per l’opera stessa. La valutazione è suddivisa in 4 approfondimenti separati che fanno riferimento a diversi gruppi di cause esterne (“pericoli”) che possono pregiudicare la funzionalità ed il raggiungimento degli obiettivi prefissati: (1) “*Rischio strutturale e fondazionale*” si riferisce alle conseguenze che possono derivare dai carichi mobili e dal degrado indotto da condizioni ambientali; (2) “*Rischio sismico*”, alle conseguenze dovute all’azione sismica; (3) “*Rischio frane*”, alle conseguenze dovute a cedimenti o movimenti del sistema di fondazione; (4) “*Rischio idraulico*” alle conseguenze dovute alle azioni idrodinamiche.

La valutazione è parziale, nel senso che si prendono in considerazione solo le cause più diffuse di perdita di funzionalità e si forniscono indicazioni solo per le tipologie di opere più diffuse. Opere particolari, sensibili ad azioni di tipo differente dovranno essere valutate, caso per caso, con criteri diversi (es. ponti di grande luce soggetti ad azioni aeroelastiche o ponti incastrati ad arco soggetti a distorsioni termiche).

È inoltre opportuno sottolineare che la valutazione (quale analisi di rischio preliminare) è inevitabilmente approssimata, in quanto basata su pochi strumenti di conoscenza, e finalizzata alla stima delle “perdite”. Seppure l'affidabilità della struttura sia uno dei parametri che influenzano il risultato, l'esito finale non può, e non deve, essere interpretato come una valutazione quantitativa della sicurezza.

4.1 STRUTTURA GENERALE DEL METODO DI CLASSIFICAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE

La definizione di classe di attenzione proposta è ispirata al noto schema di definizione di rischio, ossia è il risultato della combinazione di tre fattori principali: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.1.1

Come meglio spiegato nel § 4.4.1, nel caso di rischio frane il termine “pericolosità” va, più esplicitamente, letto e trattato come “suscettibilità”.

Tali fattori sono a loro volta determinati considerando i principali parametri che li influenzano. Questi ultimi sono distinti in “parametri primari” e “parametri secondari”, includendo tra i primi quelli con maggiore importanza ai fini della classificazione.

La determinazione dei fattori e quindi della classe di attenzione, si esegue mediante un approccio per “classi ed operatori logici”, ossia raggruppando ogni parametro principale e secondario in classi e combinando le classi tra loro mediante flussi logici.

I parametri primari e secondari sono determinati elaborando i dati raccolti mediante il censimento (§ 2) e le ispezioni visive (§ 3). A seconda del valore dei parametri primari si individuano 5 classi – bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta – definite con criteri e range di variazione specifici per ogni parametro. Tali classi sono poi corrette in funzione dei parametri secondari, classificati in 2 o più classi.

Si individuano, quindi, le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, tra le 5 previste - bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta – combinando le classi dei parametri primari e secondari relativi. La classe di attenzione, anch'essa distinta nelle solite 5 classi, si ottiene infine dalla combinazione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Il percorso logico alla base della determinazione della classe di attenzione è sintetizzato in *Figura 4.1*.

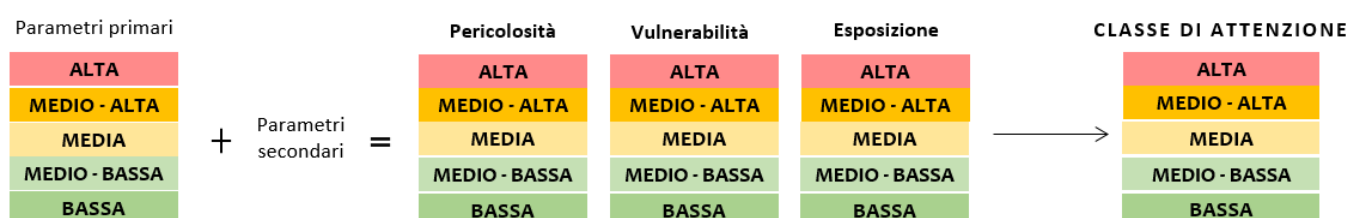


Figura 4.1. – Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.1.2

Si ricorda che un caso di possibile attenzione è rappresentato dai ponti e viadotti che, pur essendo univocamente identificati come singola opera nei sistemi informatici di gestione, sono caratterizzati da porzioni aventi differenti caratteristiche strutturali in termini di materiale e/o schema statico. In tal caso, al fine della valutazione della Classe di Attenzione da assegnare all'opera, si può preliminarmente scomporre l'opera in porzioni strutturalmente omogenee, a ciascuna delle quali assegnare uno specifico valore di classe di attenzione. All'opera può essere assegnata la Classe di Attenzione più gravosa tra quelle calcolate per le parti omogenee.

Particolare cautela deve essere posta ai casi in cui non si dispone di tutte le informazioni necessarie per la definizione dei parametri, non potendo eseguire una classificazione accurata ed affidabile; tali casi devono essere segnalati esplicitamente.

Si sottolinea che, nell'approccio per classi ed operatori logici utilizzato, non è previsto il calcolo di termini numerici.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.1.3

Si ricorda che è opportuno evidenziare **all'interno del report di classificazione** quali parametri sono stati "presunti", in particolar modo in riferimento alle informazioni minime necessarie (Istruzione Operativa 1.5.1) indispensabili per la valutazione della Classe di Attenzione.

A valle della classificazione dell'opera con parametri incerti, prima di proseguire con le ulteriori attività, si suggerisce di approfondire la conoscenza relativamente ai suddetti parametri.

4.2 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE

La definizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale considera i principali parametri influenti sul comportamento strutturale dell'opera nelle sue usuali condizioni di esercizio. Si tratta quindi di parametri relativi all'entità e alla frequenza dei carichi da traffico, nonché fattori inerenti alle caratteristiche prettamente strutturali delle opere o, ancora, parametri legati al corretto funzionamento e gestione della rete stradale di appartenenza. Essi sono distinti in "parametri primari" e "parametri secondari", come indicato in *Tabella 4.1*.

Tabella 4.1 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Entità dei carichi presenti con particolare riferimento al transito di trasporto eccezionale	-
Vulnerabilità	Livello di difettosità Schema statico, luce, materiale e numero di campate	Rapidità di evoluzione del degrado Norma di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.1

Per TGM, parametro primario per la definizione dell'esposizione, si intende Traffico Giornaliero Medio, meglio definito al § 4.2.3.

4.2.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE

La pericolosità è legata alla probabilità che il ponte sia interessato dal passaggio di carichi di massa rilevante, tra cui i veicoli commerciali, ossia i veicoli la cui sagoma corrisponde a tipologie con portata superiore a 3,5 t.

A parità di condizioni, un ponte su cui transitano frequentemente veicoli con rimorchio di massa rilevante risulta più a rischio di un ponte con le stesse caratteristiche strutturali interessato da flussi ordinari di traffico, costituiti per la maggior parte da veicoli leggeri. A ciò consegue che risulterebbe estremamente utile classificare le stesse strade, non solo in funzione delle caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, ma anche in funzione della massima massa ammissibile (*Tabella 4.2*). Quest'ultima dovrebbe essere stata stabilita dall'ente di gestione della strada in relazione allo stato di conservazione dei ponti presenti sull'arteria stradale considerata, con l'imposizione delle conseguenti limitazioni al traffico. È poi onere dell'ente di gestione assicurarsi che tale limitazione sia rispettata. L'attribuzione della CdA fa quindi riferimento alle limitazioni di transito vigenti all'atto della relativa valutazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.1.1

Per veicoli con massa rilevante sono da intendersi i veicoli con massa complessiva superiore a 3,5 t, con o senza rimorchio.

Tabella 4.2. – Classificazione delle strade in funzione della massima massa ammissibile

(*) le percentuali sono riferite ai carichi concentrati su due assi in tandem, complessivamente pari a 600 kN, previsti dallo schema di carico I delle Norme Tecniche

Classe A	Carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche
Classe B	Limitazione di carico a 44 t ($\approx 73\%$ dei carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche) (*)
Classe C	Limitazione di carico a 26 t ($\approx 43\%$ dei carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche) (*)
Classe D	Limitazione di carico a 8,0 t ($\approx 13\%$ dei carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche) (*)
Classe E	Limitazione di carico a 3,5 t ($\approx 6\%$ dei carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche) (*)

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.1.2

Con la dicitura "Carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche", utilizzata per la definizione della Classe A, si fa riferimento ai soli carichi da traffico e si intende l'assenza di limitazioni di carico sulla strada che interessa il ponte. Qualora esista una limitazione di carico solo su una corsia, si consideri la classe peggiore risultante dalla Tabella 4.2. Le percentuali indicate in tabella 4.2 derivano comunque dal rapporto tra carichi reali limitati ed azioni convenzionali, prescindendo dalla applicazione dei coefficienti parziali delle azioni variabili Q previste dalle Norme Tecniche.

Ai fini delle presenti Linee Guida, incrociando la classe della strada con la frequenza con cui è previsto il transito di carichi di massa significativa, si può individuare la **classe di pericolosità** del ponte, come indicato in Tabella 4.3. Tale parametro è definito sulla base del numero medio di veicoli commerciali previsti su una singola corsia di marcia nell'arco di un'intera giornata (24 h), ed è classificato in Alta, Media e Bassa secondo i criteri di Tabella 4.4.

Tabella 4.3. – Classi di pericolosità in funzione della classe stradale e della frequenza del passaggio di veicoli commerciali

Classe A Carichi di progetto previsti dalle Norme Tecniche	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA
Classe B Limitazione di carico a 44 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIA
Classe C Limitazione di carico a 26 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	MEDIO-ALTA	MEDIA	MEDIO-BASSA
Classe D Limitazione di carico a 8,0 t	Frequenza passaggi di veicoli commerciali		
	Alta	Media	Bassa
	MEDIA	MEDIO-BASSA	BASSA
Classe E Limitazione di carico a 3,5 t	BASSA		

Tabella 4.4. – Frequenza del transito di veicoli commerciali per singola corsia di marcia

Alta	Media	Bassa
≥ 700 veicoli/giorno	$300 < \text{veicoli /giorno} < 700$	≤ 300 veicoli/giorno

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.1.3

In mancanza di dati utili per la determinazione della frequenza di transito di veicoli commerciali per singola corsia di marcia, nelle more di acquisizione degli stessi, si può operare per analogia con dati disponibili riferiti a strade di eguale ordine e ambito territoriale. In tal caso, possono essere utili analisi statistiche riferite all'ambito provinciale e/o regionale atte a correlare a ciascuna categoria di strada (definita ai sensi del Codice della Strada – D.L. n.285 del 30/04/1992 e ss.mm.ii.) il valore di frequenza del transito di veicoli commerciali per singola corsia di marcia.

Qualora siano disponibili registrazioni del traffico riferite all'intera carreggiata, ovvero al traffico totale in entrambe le direzioni, può adottarsi la condizione più gravosa, assumendo il dato totale per la determinazione del parametro di cui alla Tabella 4.4. Ciò è applicabile a tutte le tipologie di strada, indipendentemente dal numero di carreggiate e di corsie presenti e per le quali è disponibile il dato.

In qualsiasi caso, nel caso in cui il gestore abbia a disposizione i dati relativi alle misurazioni di traffico, la valutazione del valore del TGM deve essere fatta su un periodo di osservazione e misura significativo e rappresentativo dei flussi di traffico che impegnano la strada dove la struttura è situata.

4.2.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRUTTURALE E FONDAZIONALE

Il fattore vulnerabilità dipende da diversi parametri; in particolare:

- Parametri principali: livello di difettosità, schema strutturale, luce, materiale e numero di campate;
- Parametri secondari: rapidità di evoluzione del degrado e norma di progettazione.

Esso è il risultato della combinazione dei vari parametri, secondo lo schema logico riportato in Figura 4.2.

Dallo schema in Figura 4.2 si nota che, qualora il livello di difettosità attuale risulti elevato, il ponte ha comunque classe di vulnerabilità alta, a prescindere dagli altri fattori considerati.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.0

Si chiarisce che per i ponti con periodo di costruzione o intervento di manutenzione significativo posteriore al 1980, caratterizzati da un livello di difettosità BASSO, l'effetto della rapidità di evoluzione del degrado può essere non considerato ai fini della valutazione della classe di vulnerabilità.

In questo caso, partendo dal livello di difettosità BASSO, si procede direttamente alla definizione della classe di vulnerabilità considerando solo l'effetto dovuto a schema statico, materiale e luce.

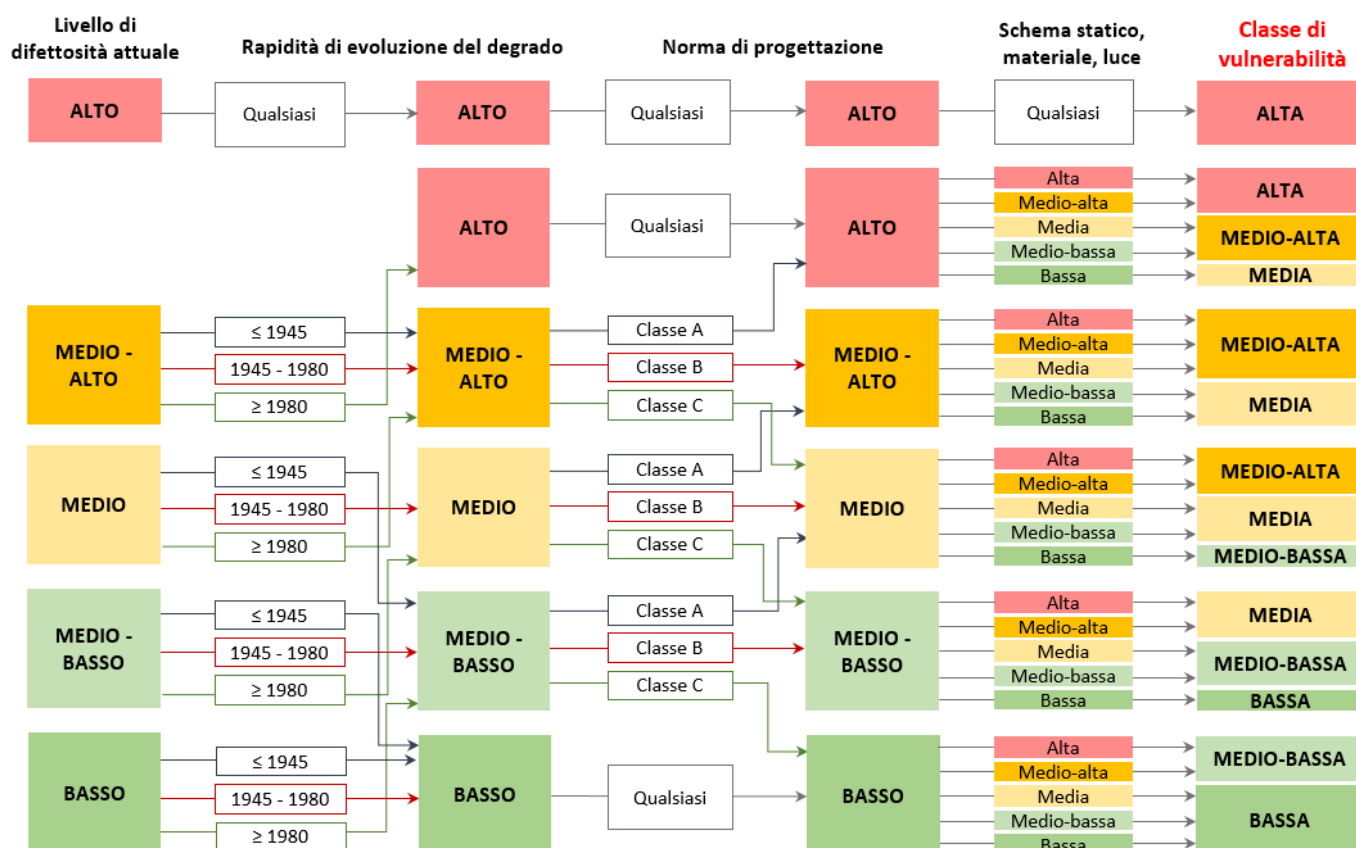


Figura 4.2. – Determinazione della classe di vulnerabilità strutturale e fondazionale.

Livello di difettosità

Il livello di difettosità è legato all'attuale stato di conservazione della struttura ed è valutabile dall'elaborazione dei risultati delle indagini speditive e del rilievo difettologico previsto dal Livello 1 dell'approccio multilivello (§ 3). Esso è classificato in 5 classi (da bassa ad alta), come mostrato in Tabella 4.5, in funzione della gravità, dell'intensità e dell'estensione dei difetti rilevati, nonché dell'elemento interessato da tali difetti e della sua rilevanza sul comportamento strutturale globale del ponte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.0bis

Si ricorda che, per l'applicazione delle disposizioni della Tabella 4.5 per la valutazione del livello di difettosità dell'opera, è necessario fare riferimento alle Istruzioni Operative 4.2.2.1.

Tabella 4.5. – Classificazione del livello di difettosità

ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità su elementi critici (selle Gerber, appoggi, cavi di precompressione, fondazioni scalzate, si veda definizione del § 3.3) o presenza di condizioni critiche (quadri fessurativi molto estesi ed intensi, cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio)
MEDIO-ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi può compromettere la statica dell'opera, come segnalato nella scheda di rilievo all'Allegato B
MEDIO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi non può compromettere il comportamento statico globale dell'opera e difetti di gravità alta ($G=5$) e di intensità medio-bassa
MEDIO-BASSO	Difetti di gravità medio-alta ($G=4$) con intensità medio-bassa e difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato
BASSO	Difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1

Il **livello di difettosità** si determina a seguito dell'esecuzione dell'ispezione visiva e della redazione delle schede di difettosità. È importante che l'ispettore incaricato fornisca, compilando le schede, le informazioni acquisite durante l'ispezione, fornendo così una "fotografia", quanto più oggettiva possibile, dell'attuale stato di conservazione degli elementi e dell'opera.

In particolare, come già detto precedentemente, a corredo della compilazione delle schede, è necessario rappresentare uno schema del ponte, in modo che ogni elemento strutturale sia identificato in maniera univoca, ad esempio, mediante un codice o una sigla, ed inserendo le direzioni principali dell'opera, in modo che ogni sua vista possa farvi riferimento ed essere contestualizzata. Occorre compilare una scheda per ogni singolo elemento strutturale identificato. Ad esempio, occorre compilare una scheda per ogni trave di ogni campata, una per ogni pila, una per ogni spalla, una per ogni traverso di ogni campata, una per ogni apparecchio di appoggio, ecc.

Sulla base dei dati raccolti dall'ispettore si prosegue con la valutazione del livello di difettosità, la quale deve essere svolta analizzando criticamente tutte le informazioni a disposizione.

Le LLGG classificano il livello di difettosità così come riportato in Tabella 4.5, avendo definito:

- con elemento critico, un elemento che presenta particolari caratteristiche di potenziale fragilità e la cui crisi può comportare la crisi dell'intera struttura o di una sua porzione, oppure la perdita di funzionalità dell'opera stessa (ad esempio selle Gerber, cavi di acciaio ad alto carbonio, etc ...);
- con condizione critica, una condizione di possibile collasso generata dalla presenza difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità ed estensione elevata su un insieme significativo di elementi per numero e/o per posizione.

Inoltre, sempre in riferimento alla Tabella 4.5, per livelli di difettosità alto e medio-alto devono intendersi quei difetti che possono pregiudicare la sicurezza o la funzionalità di una campata o dell'opera. La compromissione della statica dell'opera si segnala nelle schede di rilievo all'Allegato B tramite la casella PS - "Pregiudica la statica" (§3.2). Mentre per livelli di difettosità medio, sempre da Tabella 4.5, si riscontrano difetti che non pregiudicano la statica dell'opera, come definita al §3.2.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1a**Chiarimenti sui termini "elemento critico" e "condizione critica"**

Si richiama quanto precisato nella Istruzione Operativa 3.3.0 in merito ai termini "elemento critico" e "condizione critica", la cui definizione è, per l'"elemento critico", riferita alla connotazione tipologica di un elemento/componente strutturale ed è indipendente dal suo stato di conservazione, che è oggetto di valutazione nell'ambito del livello 1, e, per la "condizione critica", invece, è associata alla presenza di un quadro difettologico che può comportare la compromissione della statica dell'opera o di una sua parte.

La spunta di almeno una casella "Pregiudica Statica" denota la presenza di una condizione critica con potenziale compromissione della statica ma non individua una situazione di collasso incipiente.

A tal proposito, per maggiore chiarezza espositiva, si chiariscono operativamente alcune diciture frequentemente impiegate nelle schede:

- *L'intensità* si può determinare mediante il coefficiente k_2 , riportato nelle schede di valutazione dei difetti. L'intensità è possibile definirla a partire dalla descrizione del singolo difetto riportata, ad esempio, nelle schede allegate alle LLGG e dipende dall'entità del difetto in dipendenza delle dimensioni o delle caratteristiche dell'elemento strutturale (entità della sezione corrosa in relazione al diametro, ampiezza della fessura, etc.).

In particolare: al termine "intensità bassa" corrisponde un valore di k_2 minore o uguale a 0.2 (nelle schede di difettosità allegate alle LLGG barrare la casella a cui è associato il valore 0.2); per "intensità media" si intende un valore di k_2 maggiore di 0.2 e minore o uguale a 0.5 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 0.5); al termine "intensità alta" corrisponde un valore di k_2 maggiore di 0.5 e minore o uguale a 1 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 1).

Con la dicitura "intensità qualsiasi" si considerano tutti i livelli di intensità (k_2 variabile tra 0 e 1).

- *L'estensione* si può determinare mediante il coefficiente k_1 , riportato nelle schede di valutazione dei difetti. L'estensione si può ricondurre generalmente a due distinti casi:
 - difetto con sviluppo lineare (fessure, lesioni, difetti in corrispondenza dei giunti, inflessione di una trave...) in cui il parametro k_1 può essere quantificato valutando criticamente il seguente rapporto:

$$\frac{\text{lunghezza complessiva del difetto}}{\text{lunghezza della campata o della sezione di riferimento}}$$

- difetto con sviluppo areale (deterioramenti, distacchi, etc.) in cui il parametro k_1 può essere valutato secondo la seguente espressione:

$$\frac{\text{area complessiva del difetto}}{\text{area della campata o dell'elemento strutturale di riferimento}}$$

In particolare: al termine "estensione bassa" corrisponde un valore di k_1 minore o uguale a 0.2 (nelle schede di difettosità allegate alle LG barrare la casella a cui è associato il valore 0.2); per "estensione media" si intende un valore di k_1 maggiore di 0.2 e minore o uguale a 0.5 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 0.5); al termine "estensione alta" corrisponde un valore di k_1 maggiore di 0.5 e minore o uguale a 1 (nelle schede di difettosità barrare la casella a cui è associato il valore 1).

Con la dicitura "estensione qualsiasi" si considerano tutti i livelli di estensione (k_1 variabile tra 0 e 1).

In sede di ispezione, si associa un coefficiente di intensità ed estensione ad ogni tipologia di difetto rilevato per ciascun elemento strutturale.

Una particolare considerazione si può fare in merito alla definizione del parametro di estensione k_1 per difetti tipo lesioni o fessure. In accordo con quanto detto precedentemente, l'estensione di questi difetti si può valutare rapportando la lunghezza complessiva del difetto in funzione della dimensione dell'elemento ritenuta rilevante per la tipologia di difetto analizzato. Ad esempio, se si sta valutando l'estensione di una lesione a taglio su una trave in calcestruzzo armato, si può valutare la sua estensione come rapporto dello sviluppo della stessa rispetto all'altezza della trave. In qualsiasi caso, è necessario individuare e segnalare il numero totale di lesioni presenti e la loro posizione in modo da poter valutare correttamente se da queste possono scaturire situazioni critiche.

Inoltre, i diversi elementi strutturali e di connessione possono essere raggruppati all'interno delle seguenti maggiori categorie:

- *Sovrastruttura*: raggruppa tutti gli elementi e le strutture orizzontali del ponte che costituiscono l'impalcato. Può essere costituita da più campate.
- *Sottostruttura*: raggruppa le pile, le spalle, le antenne, le fondazioni del ponte. Ai fini della determinazione del livello di difettosità, si associano ad ogni pila i rispettivi apparecchi di appoggio.

Tale classificazione è rilevante ai fini del processo di determinazione del livello di difettosità dell'intera opera, come descritto nel seguito.

A. DIFETTOSITA' DEI SINGOLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per la determinazione del livello di difettosità dei singoli elementi strutturali che compongono una campata (o l'intera opera) occorre seguire le indicazioni riportate nei seguenti paragrafi.

Elementi con Livello di difettosità ALTO

Sono caratterizzati da un livello di difettosità alto gli elementi per i quali si riscontrano difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da comportare la possibile e potenziale crisi incipiente dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura.

In particolare, rientrano in tale categoria gli elementi critici con difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità o gli elementi il cui danno può generare condizioni critiche per la sicurezza.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1b

Si ricorda che gli elementi con livello di difettosità ALTO sono:

- 1) elementi critici con difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità;
- 2) elementi non critici che configurino condizioni critiche per la sicurezza (possibile crisi incipiente) e che non siano pertanto monitorabili nel tempo tramite azioni di sorveglianza e monitoraggio, come invece accade per gli elementi di difettosità MEDIO-ALTA, di seguito descritti.

Elementi con Livello di difettosità MEDIO-ALTO

In tale classe ricadono gli elementi strutturali caratterizzati da difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da poter compromettere nel tempo il funzionamento statico dell'elemento e/o dell'intera struttura, ma dei quali è ancora possibile controllarne l'evoluzione mediante adeguati sistemi di ispezione e monitoraggio, in attesa dell'esecuzione di eventuali interventi atti a sanarli.

In particolare, negli elementi (non critici) con livello di difettosità medio-alto è possibile riscontrare difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata, tali da poter innescare una crisi che potrà compromettere la statica dell'opera.

Elementi con Livello di difettosità MEDIO

In tale classe ricadono gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento statico globale dell'opera, per i quali si riscontrano, non necessariamente in contemporanea, le seguenti tipologie di difetti:

- difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$), di intensità elevata ed estensione qualsiasi;
- difetti di gravità alta ($G=5$), di intensità medio-bassa ed estensione tale da compromettere la capacità dell'elemento.

Inoltre, si suggerisce di associare un livello di difettosità medio agli elementi la cui crisi può compromettere potenzialmente il comportamento statico globale dell'opera per i quali si riscontrano difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$, $G=4$) ma con intensità medio-bassa, e quindi ci si trovi lontani dal potenziale incipiente collasso dell'opera. Oltre a quanto riportato sopra, si suggerisce di associare un livello di difettosità medio anche agli elementi critici per i quali si riscontrino difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità e di estensione media o alta.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1c

Si chiarisce che l'alinea *"In tale classe ricadono gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento statico globale dell'opera per i quali [...]"*, riportata nel testo delle Linee Guida per gli "Elementi con Livello di difettosità MEDIO", deve essere letta come: "In tale classe ricadono gli elementi non critici e, in generale, gli elementi la cui crisi non compromette il comportamento statico globale dell'opera per i quali [...]". Anche nel seguito l'alinea indicata sarà da intendersi nel modo specificato, in particolare per gli "Elementi con livello di difettosità MEDIO-BASSO" e per gli "Elementi con livello di difettosità BASSO".

Inoltre, in assenza di specifiche indicazioni, si suggerisce di associare un livello di difettosità MEDIO agli elementi non critici la cui crisi può compromettere potenzialmente il comportamento statico globale dell'opera, per i quali si riscontrano difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), con intensità qualsiasi ed estensione media o alta.

Elementi con Livello di difettosità MEDIO-BASSO

In linea generale, in tale classe ricadono gli elementi strutturali per i quali si riscontrano, in numero elevato, difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da NON comportare la potenziale incipiente crisi dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura, né di comprometterne il funzionamento statico nel tempo.

Nello specifico, in tale classe ricadono:

- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento statico della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità medio-alta ($G=4$) con intensità medio-bassa o difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato;
- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento statico della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità alta ($G=5$), intensità medio-bassa ed estensione tale da non compromettere l'integrità statica dell'elemento;
- gli elementi la cui crisi può compromettere il comportamento statico della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrino difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità ed estensione bassa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1d

Con riferimento agli *"elementi la cui crisi può compromettere il comportamento statico della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrino difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità ed estensione bassa"*, si chiarisce che, nel caso in cui tali difetti siano in numero elevato, il livello di difettosità da assegnargli è MEDIO-BASSO.

Si può associare un livello di difettosità MEDIO-BASSO anche agli elementi critici per i quali si riscontrino, in numero elevato, difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità, di estensione bassa.

Elementi con Livello di difettosità BASSO

In linea generale, in tale classe ricadono gli elementi strutturali per i quali si riscontrano, in numero esiguo, difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da NON comportare la potenziale incipiente crisi dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura, né di comprometterne il funzionamento statico nel tempo.

Nello specifico, in tale classe ricadono:

- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento statico della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano, in numero esiguo, difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1e

Si chiarisce che agli elementi critici e agli elementi non critici la cui crisi può compromettere il comportamento statico al livello "locale" della campata o "globale" dell'opera, per i quali si riscontrino un numero esiguo di difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità, di estensione bassa, è possibile associare un livello di difettosità BASSO.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1f

Si chiarisce che il numero di difetti caratterizzati da gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) può intendersi "esiguo" quando risulti pari o inferiore al 50% del totale dei difetti riscontrati sull'elemento indagato.

Altrimenti, il numero dei difetti caratterizzati da gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) può intendersi "elevato".

Quanto sopra vale sia per il livello di difettosità associato al rischio strutturale-fondazionale sia per quello associato al rischio sismico.

B. DIFETTOSITA' DI UNA CAMPATA, DI OGNI ELEMENTO DELLA SOTTOSTRUTTURA E DELL'INTERA OPERA

La determinazione del livello di difettosità di una campata, degli elementi della sottostruttura (o dell'intera opera) è conseguente ad una valutazione di tipo globale, che presuppone un'analisi critica della tipologia, intensità ed estensione dei difetti rilevati sui singoli elementi strutturali, nonché della loro localizzazione, al fine di determinare se questi possano provocare un'incipiente o potenziale crisi di un elemento strutturale e/o della campata o dell'intera opera.

Per una campata ed ogni sottogruppo della sottostruttura (pila e relativi elementi di appoggio, spalle e relativi elementi di appoggio):

- qualora anche soltanto un elemento, o più d'uno, abbia un livello di difettosità alto o medio-alto, alla campata è assegnato il livello di difettosità massimo riscontrato sugli elementi strutturali principali;
- nel caso in cui non si rilevino condizioni tali da determinare un livello di difettosità alto o medio-alto sugli elementi costituenti, alla campata e ad ogni sottogruppo della sottostruttura può essere associato un livello di difettosità medio, medio-basso o basso, in funzione del livello di difettosità riscontrato sui singoli elementi ispezionati. Una volta determinato il livello di difettosità per ogni singolo elemento, si può assegnare il livello di difettosità alla campata quantificando in percentuale il numero di elementi che ricadono nei diversi livelli (medio, medio-basso e basso):
 1. se almeno il 50% degli elementi è caratterizzato da un livello di difettosità medio, il livello di difettosità complessivo della campata si può assumere medio;
 2. se meno del 50% di elementi è caratterizzato da un livello di difettosità medio, il livello di difettosità complessivo della campata può essere assunto medio-basso o basso. In particolare, si suggerisce di assumere quello associato alla percentuale maggiore degli elementi ricadenti nei due livelli (medio-basso e basso).

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.1g

In assenza di specifiche indicazioni, onde evitare anomalie nella valutazione complessiva (soprattutto in presenza di tipologie di elementi seriali e caratterizzati da un livello di difettosità omogeneo), è opportuno che l'assegnazione della difettosità non si basi esclusivamente sulla mera numerosità degli elementi ricompresi in un singolo

sottogruppo della sottostruttura o in una singola campata, ma sia valutata considerando anche la rilevanza strutturale degli elementi.

Per l'intera opera:

- è assegnato il livello di difettosità massimo riscontrato sulle campate e su ogni sottogruppo della sottostruttura. Ricadono in questo caso anche quelle strutture la cui sicurezza, per lo schema statico adottato, non può essere valutata con riferimento a singole porzioni dell'opera.

Nel caso di opere costituite da più campate la cui statica può essere valutata campata per campata, si raccomanda comunque di assegnare un livello di difettosità ad ogni campata, e solo successivamente attribuire all'intera opera il livello massimo riscontrato sulle sue campate.

Il significato dei termini in *Tabella 4.5* è descritto al § 3.2 del presente documento.

Le informazioni che permettono di identificare il livello di difettosità del ponte si ricavano dalle schede di difettosità proposte nell'Allegato B e descritte nel § 3.2 del presente documento.

Rapidità di evoluzione del degrado

Il livello di difettosità non è sufficiente per stimare la vulnerabilità del ponte in quanto essa dipende anche dalla rapidità con cui tale livello di difettosità è stato raggiunto. Infatti, mentre un determinato livello di difettosità su un ponte in opera da un tempo significativo (per esempio, 50 anni) si può considerare "fisiologico", lo stesso livello di difettosità rilevato su un ponte recentemente costruito richiede una maggiore attenzione, in quanto indica che si è sviluppato con una rapidità elevata e che, probabilmente, raggiungerà rapidamente livelli significativi.

Il confronto in funzione dell'anno di costruzione è ovviamente significativo nel caso in cui i ponti non siano stati oggetto di rilevanti interventi manutentivi. Al contrario, nel caso in cui si abbia evidenza di interventi manutentivi, opportunamente documentati, che abbiano limitato in maniera significativa i fenomeni di degrado, riconducendo lo stato di conservazione dell'opera nella pratica alle sue condizioni iniziali, occorre fare riferimento all'anno dell'ultimo intervento di manutenzione effettuato, attribuendo una vulnerabilità più alta ai ponti per cui gli interventi sono più recenti ma che attualmente si trovano allo stesso livello di degrado di opere su cui si è intervenuto meno recentemente. Utilizzando la documentazione disponibile dal censimento di Livello 0 e un attento esame visivo dell'opera, occorre valutare la tipologia degli interventi di manutenzione a cui è stata soggetta l'opera e la loro efficacia nel riparare i difetti o i danneggiamenti conseguenti ai fenomeni di degrado.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.2

Per interventi manutentivi sono da intendersi tutti gli interventi destinati al ripristino delle parti ammalorate, i quali interrompendo il processo di degrado mediante l'utilizzo di tecnologie specifiche, portano le condizioni di vulnerabilità nei confronti del degrado a livelli analoghi a quelle di una struttura nuova. Gli interventi sono considerati "rilevanti" se coinvolgono tutte le parti ammalorate della struttura.

Nella valutazione saranno presi in considerazione i soli interventi manutentivi di ripristino adeguatamente documentati e riscontrati.

Secondo quanto detto, la rapidità di evoluzione del degrado è stimata, in funzione del periodo di costruzione del ponte, nel caso di assenza di interventi manutentivi, o del periodo di attuazione dell'ultimo intervento di manutenzione significativo, in caso contrario.

A tal fine si distinguono 3 categorie in funzione del periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativa:

- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo antecedente al 1945;
- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo compreso tra il 1945 e il 1980;
- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo posteriore al 1980.

Noto l'anno di realizzazione del ponte e degli interventi manutentivi effettuati o ipotizzandoli, laddove ci siano condizioni sufficienti per farlo, si stabilisce a quale categoria occorre fare riferimento e si corregge la classificazione del livello di difettosità attuale, secondo il percorso logico rappresentato in *Figura 4.2*. L'eventuale esposizione dell'opera a correnti di vento marine ("aerosol marini") o all'azione aggressiva dei sali antigelo può determinare una maggiore rapidità di evoluzione del degrado.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.3

L'eventuale esposizione dell'opera a correnti di vento marine ("aerosol marini") o all'azione aggressiva dei sali antigelo può determinare una maggiore rapidità di evoluzione del degrado. Particolare attenzione deve essere rivolta nella ispezione di strutture soggette all'opera di correnti di vento marine e nel caso di utilizzo, da parte del gestore, di sali disgelanti. In quest'ultimo caso è necessario che il tecnico operatore si informi dal gestore dell'infrastruttura sulla frequenza di utilizzo dei sali disgelanti lungo la tratta. In questi casi, sarà cura dell'operatore porre particolare attenzione nella valutazione del degrado e della sua velocità di evoluzione che potrebbe portare ad una classe di attenzione maggiore.

Norma di progettazione

Al fine di poter stimare il livello di vulnerabilità delle opere, oltre allo stato di conservazione che le contraddistinguono, è importante la conoscenza delle ipotesi alla base della loro realizzazione e, tra queste, i carichi previsti nelle fasi di progettazione. All'evoluzione del panorama normativo storico italiano è infatti corrisposta una variazione nella definizione dei carichi da traffico e dei metodi di progettazione impiegati.

Confrontando i valori dei carichi da traffico considerati dalle norme nel corso degli anni rispetto a quelli previsti dalle Norme Tecniche attualmente vigenti, si nota che, innanzitutto, occorre distinguere i ponti progettati in 1° categoria, ossia i ponti destinati al transito di carichi civili e militari, da quelli di 2° categoria, destinati al transito dei soli carichi civili. Se, infatti, gli effetti dei carichi civili considerati fino al 1980 erano molto meno gravosi rispetto a quelli previsti attualmente, gli effetti dei carichi militari previsti dal 1952 in poi sono paragonabili a quelli indotti dagli schemi di traffico attuali.

Gli effetti dei carichi da traffico sul ponte dipendono, oltre che dal loro valore, dallo schema statico del ponte e dalla loro disposizione sulla sede stradale, ovvero dalla luce e dalla larghezza dell'impalcato. Sulla base di tali caratteristiche andrebbe stabilito se i carichi di esercizio impiegati nella progettazione rappresentano un aggravante o meno della vulnerabilità del ponte.

In mancanza di valutazioni più accurate, sulla base del solo anno di progettazione, è possibile distinguere tre classi:

Classe A: ponti di I categoria progettati con norme pubblicate antecedentemente al 1952; ponti di II categoria progettati con norme pubblicate antecedentemente al 1990.

Classe B: ponti di I categoria progettati con norme pubblicate dal 1952 al 1990, inclusi, per luci inferiori ai 10 m e con norme dal 1952 al 2005, inclusi, per luci superiori ai 10 m; ponti di II categoria progettati con le norme pubblicate nel 1990 per luci inferiori ai 10 m e con norme dal 1990 al 2005, inclusi, per luci superiori ai 10 m.

Classe C: ponti di I e II categoria progettati con norme pubblicate dal 2005, incluso, ad oggi per luci inferiori ai 10 m e con norme dal 2008, incluso, ad oggi per luci superiori ai 10 m.

Nella *Figura 4.2*, il livello di difettosità atteso è corretto in funzione di ciascuna categoria sopra indicata.

Nel caso in cui non sia disponibile documentazione sulla categoria di progettazione del ponte e non sia possibile risalire, in alcun modo, ad essa occorre fare riferimento ai ponti di 2° categoria.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.4

Nel caso in cui la categoria di intervento sia stata di adeguamento (interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3 delle NTC2018), l'opera è da considerarsi di Classe C.

Nel caso di interventi di miglioramento e riparazione locale occorre valutare se tali interventi hanno influito sulla capacità globale dell'opera (§ 8.4 delle NTC2018); in mancanza di specifica documentazione che attesti il livello di sicurezza raggiunto, si dovrebbe far riferimento alla classe riferita all'anno di progettazione.

Nel caso siano state eseguite valutazioni di sicurezza con esito positivo nei confronti dei carichi da traffico in accordo con le norme pubblicate dal 2005 in poi, l'opera è da considerarsi di Classe C.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.4bis

Nel caso in cui siano noti l'anno di progettazione e la categoria di progettazione del ponte, le Linee Guida assegnano la classe di progettazione, differenziando il caso di luci minori o maggiori di 10 m.

In assenza di specifiche indicazioni, se non sono disponibili i documenti progettuali e la data della progettazione, in via approssimativa, si potrà desumere la normativa di riferimento sulla base della data di costruzione o del

collaudo e quindi, quale utile riferimento, assegnare la classe di progettazione come riepilogato nelle tabelle seguenti.

Al riguardo, si precisa che, in assenza di specifiche indicazioni, costituiscono utili riferimenti i seguenti:

- per i ponti di *luce inferiore ai 10 m* di *I categoria* progettati con norme pubblicate dal 1990 (escluso), al 2005 (escluso), si suggerisce di assumere la Classe C;
- per i ponti di *luce inferiore ai 10 m* di *II categoria* progettati con norme pubblicate dal 1990 (incluso) al 2005 (escluso), si suggerisce di assumere la Classe B;
- per i ponti di *luce superiore ai 10 m* di *I categoria* progettati con norme pubblicate dal 2005 (escluso), al 2008 (escluso), si suggerisce di assumere la Classe C;
- per i ponti di *luce superiore ai 10 m* di *II categoria* progettati con norme pubblicate dal 2005 (escluso) al 2008 (escluso), si suggerisce di assumere la Classe B.

Tutti i criteri di assegnazione della classe di progettazione, di cui al paragrafo § 4.2.2 - "*Norme di progettazione*" delle Linee Guida, sono sintetizzati, per maggior chiarezza, nelle tabelle che seguono.

Inoltre, nel caso di opere progettate per autostrade e strade extraurbane principali, anche in assenza di documentazione progettuale, si potrà comunque fare riferimento alla Categoria I

LUCI <10 m		Anno prog. < 1952	1952 ≤ Anno prog. ≤ 1990	1990 < Anno prog. < 2005	2005 ≤ Anno prog. ≤ 2008	2008 < Anno prog.
Categoria di progettazione	I	A	B	C	C	C
		Anno prog. < 1952	1952 ≤ Anno prog. < 1990	1990 ≤ Anno prog. < 2005	2005 ≤ Anno prog. ≤ 2008	2008 < Anno prog.
	II	A	A	B	C	C

LUCI ≥10 m		Anno prog. < 1952	1952 ≤ Anno prog. < 1990	1990 ≤ Anno prog. ≤ 2005	2005 < Anno prog. < 2008	2008 ≤ Anno prog.
Categoria di progettazione	I	A	B	B	C	C
	II	A	A	B	B	C

Schema statico, luce, materiale e numero di campate

La vulnerabilità delle opere è strettamente connessa alle caratteristiche strutturali, in termini di schema statico, luce e materiale da costruzione e a come esse rispondono alle richieste provenienti dalle azioni a cui il ponte è soggetto.

Alcuni dei parametri tenuti in conto per stimare la vulnerabilità nei confronti delle azioni statiche e geotecniche di opere con diverso schema statico, materiale (inteso come materiale dell'impalcato) e luce (intesa come luce della campata più lunga) sono la ridondanza dello schema statico (strutture con maggiore grado di iperstaticità sono considerate meno vulnerabili di strutture meno iperstatiche o isostatiche), la suscettibilità a crisi fragili, quali crisi di taglio per travate Gerber, e la sensibilità del materiale ai fenomeni di degrado. Con riferimento alla *Tabella 4.6*, individuati lo schema statico, il materiale e la luce si individua la classe di vulnerabilità da associare alle caratteristiche strutturali del ponte oggetto di valutazione, che, combinata con gli altri parametri, permette di ricavare la classe di vulnerabilità complessiva del ponte, come mostrato in *Figura 4.2*.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.5

Strutture che presentano lo stesso livello di sicurezza nei confronti delle verifiche di resistenza possono presentare modalità di collasso differenti, che coinvolgono porzioni più o meno ampie dell'intera costruzione.

In funzione dello schema statico, del materiale e delle dimensioni della struttura, si vuole valutare la naturale predisposizione della struttura al danneggiamento a seguito dell'azione statiche o geotecniche.

Tabella 4.6. – Classi di vulnerabilità in funzione di schema statico, luce e materiale (L = luce della campata più lunga).

*Con il termine "misto" si fa riferimento ad impalcati con struttura composta acciaio-c.a.

Schema statico	Materiale	$L \leq 5 \text{ m}$	$5 \text{ m} < L < 15 \text{ m}$	$15 \text{ m} \leq L < 25 \text{ m}$	$L \geq 25 \text{ m}$
Travate appoggiate	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	C.a.p.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Acciaio	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Metallo (Ponti storici)	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Legno	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
	Misto*	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
Travate continue / Telaio	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	C.a.p.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
	Acciaio	BASSA	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	Metallo (Ponti storici)	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
	Misto*	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA
Arco massiccio	Muratura	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA
	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA
Arco sottile	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIA	MEDIO-ALTA
Travate Gerber / Ponti a stampella con travi tampone	C.a.	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	C.a.p.	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Acciaio	MEDIA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
	Metallo (Ponti storici)	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
	Misto*	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Soletta appoggiata	C.a.	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA	ALTA
Soletta incastrata	C.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIA	MEDIO-ALTA

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.6

Con riferimento alla Tabella 4.6 si forniscono le seguenti informazioni integrative:

- **Ponti a travate appoggiate** tutte quelle strutture caratterizzate da travi longitudinali in semplice appoggio su elementi verticali (pile, pulvini o spalle), ivi comprese le strutture costituite da travate appoggiate con soletta collaborante continua, anche di significativo spessore.
- **Ponti a travate continue/telaio** tutte quelle strutture aventi travi longitudinali con almeno un appoggio intermedio ovvero impalcato aventi elementi realizzati in continuità con gli elementi verticali. Rientrano in questa categoria anche ponti a travate continue con singole selle Gerber nelle campate (es. ponti iperstatici senza travi tampone) e, in generale, tutti gli schemi in cui le travi longitudinali presentano uno schema iperstatico.
- **Ponti ad arco massiccio** tutte quelle strutture caratterizzate da uno schema ad arco a via superiore per le quali non è possibile osservare direttamente l'estradosso dell'arco. Nello specifico, rientrano in questa categoria tutte quelle strutture, le quali presentano continuità, anche per mezzo di elementi di diverso materiale (es. riempimento anche non coerente), con il piano viario e per le quali gli elementi resistenti possano beneficiare di un effetto di compressione uniformemente distribuito. Nel caso di ponti con struttura originaria in muratura e rinforzati in epoca successiva con elementi in calcestruzzo armato all'intradosso o di ponti con intradosso in calcestruzzo non armato, si può considerare una struttura ad arco massiccio in muratura.
- **Ponti ad arco sottile** tutte quelle strutture per le quali la continuità dell'arco con l'impalcato è garantita per mezzo di elementi verticali o subverticali (es. piedritti, pendini o tiranti). Rientrano in questa tipologia ponti ad arco a via superiore (compresi quelli del tipo Maillart), a via inferiore e via intermedia. Nel caso di ponti di questa tipologia e con arco in acciaio, si considera la classe di vulnerabilità alla stregua di una struttura a travate continue/telaio in acciaio.
- **Ponti a travate Gerber/ponti a stampella con travi tampone** tutte quelle strutture caratterizzate da porzioni di impalcato direttamente poggianti per mezzo di selle Gerber su porzioni a sbalzo di impalcato (es. ponti del tipo Gerber-Niagara), oppure su pulvini.
- **Ponti a soletta appoggiata** tutte le strutture il cui impalcato è costituito da una soletta piena o da un solettone alleggerito di spessore costante in semplice appoggio rispetto agli elementi verticali.
- **Ponti a soletta incastrata** tutte le strutture il cui impalcato è costituito da una soletta piena o da un solettone alleggerito di spessore costante in continuità, oppure incastrata, rispetto agli elementi verticali.

Inoltre, in presenza di strutture composte calcestruzzo armato - muratura (es. ponti a travata in c.a. con pile e/o spalle in muratura) per la definizione della classe di vulnerabilità si considera il materiale di impalcato.

In caso di schemi statici non contemplati o non riconducibili a quelli della *Tabella 4.6* (es. ponti strallati o ponti sospesi) la scelta della classe di vulnerabilità in funzione di schema statico, luce e materiale è demandata al valutatore, che la motiva in modo esauriente e adeguato.

La *Tabella 4.6* è da considerarsi indicativa ma non esaustiva di tutte le possibili situazioni che possono verificarsi.

Qualora il ponte abbia campate con diverso schema strutturale (ad esempio, campate centrali ad arco e campate di riva con travate appoggiate), si consideri la classe di vulnerabilità più gravosa tra quelle associate ai due differenti schemi statici.

Le classi in *Tabella 4.6*, in funzione del numero di campate dell'opera, si modificano nel seguente modo:

- la classe aumenta di un livello (da Bassa a Medio-Bassa, da Medio-Bassa a Media, e così via) se il numero di campate è superiore a 3;
- la classe rimane invariata se il numero di campate è inferiore o uguale a 3.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.7

Come numero di campate dell'opera è da intendersi il numero di campate coinvolte in un possibile meccanismo di collasso. Conseguentemente, la classe stabilita secondo Tabella 4.6 aumenta di un livello (da Bassa a Medio-Bassa, da Medio-Bassa a Media, e così via) se il numero di campate coinvolte in un possibile meccanismo di collasso è superiore a 3. La classe rimane invariata se il numero di campate coinvolte in un possibile meccanismo di collasso è inferiore o uguale a 3.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.7bis

Si ricorda che l'incremento della classe di vulnerabilità, nel caso di *"meccanismi di collasso che coinvolgono un numero di campata maggiore di 3"*, fa riferimento al rischio di innesco di collasso progressivo.

Si riportano, a titolo di esempio, alcuni casi per cui l'innesco del collasso di una campata può comportare il collasso progressivo delle altre:

- ponti fortemente spingenti (arco ribassato, dove la perdita di mutuo contrasto per collasso di una campata può innescare il collasso delle campate adiacenti o arco a tutto sesto con pile molto alte);
- ponti strallati con ridotto numero di stralli o comunque dove il crollo di una campata comporta lo sbilanciamento delle forze tale da produrre un collasso progressivo.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.2.8

In relazione alla definizione della classe di vulnerabilità per ponti di recente costruzione progettati con norme tecniche a partire da quella del 2005 (norma di progetto Classe C), e per i quali si riscontrano le seguenti condizioni:

- sono caratterizzati da un livello di difettosità basso o medio-basso;
- si ha a disposizione il progetto originario, la relazione a struttura ultimata con i relativi controlli di accettazione, il certificato di collaudo statico ed eventualmente il certificato di collaudo tecnico amministrativo;

la classe di vulnerabilità può considerarsi bassa.

4.2.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza dei veicoli transitanti, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua resilienza.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione sono:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM) e luce della campata;
- parametri secondari: presenza o meno di alternative stradali, tipologia di ente scavalcato, trasporto di merci pericolose.

Analogamente agli altri fattori, il valore dei parametri primari determina una distinzione in 5 classi o livelli di esposizione che è poi modificata dal valore dei parametri secondari, secondo lo schema mostrato in *Figura 4.3*. In questo caso, il parametro legato al trasporto di merci pericolose, non incluso nello schema in *Figura 4.3*, influisce sulla classificazione finale della classe di attenzione, al fine di stabilire un ordine di priorità tra opere appartenenti ad una stessa classe.

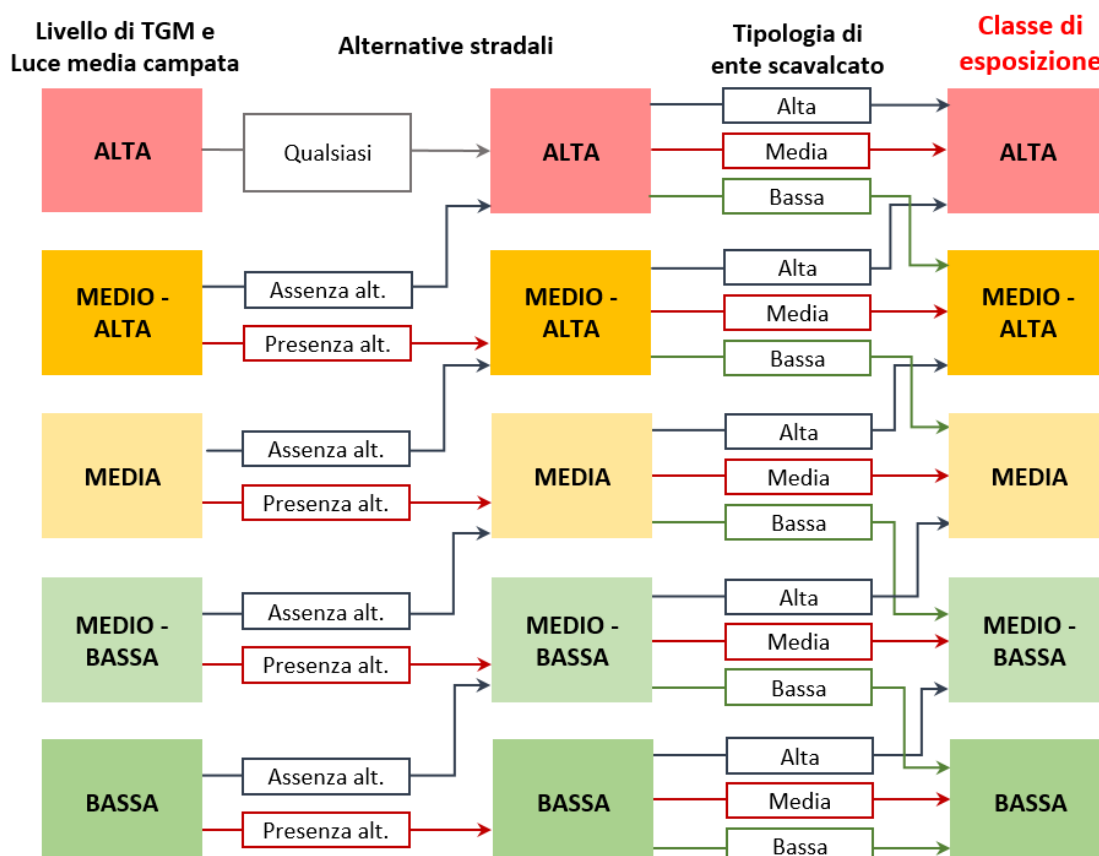


Figura 4.3. - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale

Tipologia e volume di traffico

Mediante le informazioni relative alle reti stradali di appartenenza raccolte nel censimento di Livello 0, acquisite a seguito di studi trasportistici specifici o fornite dai gestori di competenza, si può ricavare il volume di traffico previsto, in termini di Traffico Medio Giornaliero (TGM) ossia il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dal ponte. Sulla base di questo, si determina il livello di TGM come in *Tabella 4.7*.

Tabella 4.7. – Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull'intera carreggiata)

Alta	Media	Bassa
≥ 25000 veicoli/giorno	$10000 < \text{veicoli /giorno} < 25000$	≤ 10000 veicoli/giorno

Eventuali aggiornamenti delle misurazioni dei dati di traffico che evidenzino variazioni del livello di traffico di cui alla *Tabella 4.7*, comportano l'aggiornamento della classe di esposizione e la conseguente rivalutazione della classe di attenzione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.1

Si intende che il TGM è relativo a tutte le carreggiate sostenute dalla stessa sottostruttura. Qualora il dato TGM non fosse disponibile per la rete stradale in esame, si può far riferimento al dato TGM noto per tratte limitrofe e/o caratterizzate da simili caratteristiche.

Nel caso di opere d'arte ricadenti nell'ambito di applicazione dell'articolo 25 del decreto legislativo n. 285/1992 come ad esempio i cavalcavia, il gestore, che la definizione di cui al § 1.1 identifica nel titolare delle strutture, può differire dal soggetto che gestisce la circolazione stradale gravante sullo stesso cavalcavia; deve acquisire le informazioni relative al traffico (ad esempio il TGM) dal soggetto responsabile della gestione della circolazione stradale sul cavalcavia.

Oltre che dal livello di TGM previsto sulla strada di interesse, il livello di esposizione, inteso come probabilità di subire perdite di vite umane a seguito di un evento quale il crollo di un ponte, dipende dalla luce media della campata della struttura, in quanto al

suo aumentare, aumenta il rischio a cui l'utente della strada è esposto. Il livello di TGM individuato mediante la *Tabella 4.7*, pertanto, si corregge in funzione della luce media della campata del ponte, secondo la *Tabella 4.8*, distinguendo:

- Grande luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 50 m;
- Media luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 20 m e non maggiore di 50 m;
- Piccola luce: per ponti con campate di luce media non maggiore di 20 m.

Tabella 4.8. – Livello di Traffico Medio Giornaliero e luce media della campata del ponte

Luce media della campata	Livello di TGM		
	Alta	Media	Bassa
Grande luce	Alta	Medio-Alta	Media
Media luce	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Piccola luce	Media	Medio-Bassa	Bassa

Nei casi in cui il gestore ritenga che il frequente passaggio di persone possa comportare un aumento significativo di esposizione, come potrebbe accadere per opere all'interno di centri abitati aventi carreggiate che ospitano marciapiedi riservati al transito di pedoni, la classe definita in *Tabella 4.8* può essere incrementata di un livello (da Bassa a Medio-bassa, da Medio-bassa a Media, e così via).

Alternative stradali

La possibile chiusura o le limitazioni di traffico sul ponte causano inevitabili disagi alle economie locali. Tali disagi sono contenuti nel caso siano individuati itinerari stradali adeguati su cui eventualmente deviare i flussi di traffico. È pertanto considerata la presenza e l'adeguatezza, in termini di costi, tempo e distanze, delle alternative stradali percorribili in caso di chiusura del ponte. La classe identificata sulla base di livello di TGM e luce media della campata, quindi, aumenta se non sono presenti alternative stradali adeguate (vedi *Figura 4.3*), in quanto il ponte acquisisce una maggiore importanza strategica per il corretto funzionamento del sistema viario ed è pertanto necessario preservarne l'efficienza ed evitare quanto più possibile crolli o perdite di funzionalità. Le informazioni necessarie per valutare tale fattore sono deducibili da studi trasportistici specifici, qualora disponibili, inclusi nel censimento di Livello 0. Nel caso in cui non siano disponibili dati sufficienti, si considera il caso di "assenza di alternative" per procedere in via cautelativa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.2

L'adeguatezza dell'alternativa stradale in termini di "costi, tempo e distanze" deve essere valutata ed adeguatamente motivata dal gestore.

Tipologia di ente scavalcato

Il diverso livello di esposizione associato alla tipologia di ente scavalcato dipende dalle conseguenze, economiche e sociali che l'eventuale crollo del ponte avrebbe sull'ente stesso ed è messo in conto mediante la definizione di tre classi, descritte in *Tabella 4.9* ed utilizzate per correggere il livello di esposizione secondo lo schema in *Figura 4.3*.

Tabella 4.9. – Tipologia di ente scavalcato

ALTA	Ente scavalcato il cui uso preveda affollamenti significativi e/o con funzioni pubbliche e sociali essenziali e/o la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e/o enti di elevato valore naturalistico, economico e sociale (Ferrovia, zona edificata/antropizzata, strade a viabilità primaria, etc.)
MEDIA	Ente scavalcato il cui uso preveda normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e/o enti con limitato valore naturalistico, economico e sociale (strade a viabilità secondaria, corsi d'acqua, laghi, specchi d'acqua marini, etc.)
BASSA	Ente scavalcato con presenza occasionale di persone e privi di valore naturalistico, economico e sociale (discontinuità naturali, depressioni del terreno, etc.)

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.3

In riferimento alla *Tabella 4.9*, classe bassa, rientrano tra gli enti scavalcati con presenza occasionale di persone e privi di valore naturalistico: ruscelli, canali di convogliamento delle acque e corsi d'acqua non predisposti al passaggio di natanti o a stazionamento di persone.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.3bis

Per il *"livello di esposizione dell'ente scavalcato"*, in assenza di specifiche indicazioni e di altre significative opere esposte, in via esemplificativa e non esaustiva, può costituire utile riferimento la seguente Tabella:

Tipologia di ente scavalcato Linee Guida (Scheda liv. 0 -1) - Tipo di collegamento	Livello di esposizione dell'ente scavalcato (Tab. 4.9 Linee Guida)
Ponte su corso d'acqua: Principale	MEDIA
Ponte su corso d'acqua: Secondario	
Viadotto su zona edificata/antropizzata	ALTA
Viadotto su altra via di comunicazione: Viabilità principale (autostrada; strada extraurbana principale; strada urbana di scorrimento)	ALTA
Viadotto su altra via di comunicazione: Viabilità secondaria (strada extraurbana secondaria; strada urbana di quartiere; strada locale; strade di servizio; itinerario ciclo-pedonale)	MEDIA
Ponte su ferrovia	ALTA
Ponte su ferrovia dismessa	BASSA
Ponte su specchi d'acqua marini (e laghi)	MEDIA
Ponte/Viadotto su discontinuità orografica (vallata, piccoli canali, etc.)	BASSA

Trasporto di merci pericolose

Per materie pericolose si intendono quelle sostanze che per la loro particolare natura sono in grado di produrre danni significativi alle persone e all'ambiente. Il transito di materiale di questo tipo comporta inevitabilmente un incremento di esposizione e quindi di classe di attenzione. Tale parametro è utilizzato come elemento di discriminare tra ponti appartenenti alla stessa classe di attenzione, consentendo di definire un ordine di priorità interno ad ogni classe e prevedendo una priorità più alta per i ponti per cui il trasporto di merci pericolose non sia di carattere meramente occasionale, ma dettato da specifiche esigenze del territorio. Le informazioni relative al passaggio di merci pericolose devono essere fornite dall'ente di gestione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.3.4

Si sottolinea che il ricorrente transito di trasposti di merci pericolose è da prendere in considerazione come elemento di discriminare tra ponti appartenenti alla stessa classe di attenzione per la prioritizzazione delle azioni conseguenti alla classificazione stessa e non come incremento della classe di esposizione. Si precisa inoltre che tale evenienza si verifica quando tali merci transitano in modo abituale sull'opera, ad esempio per la vicinanza di impianti produttivi di tali sostanze oppure essendo tale opera su un'arteria di collegamento tra impianti produttivi.

4.2.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE

Noti i parametri in gioco, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) strutturale e fondazionale, combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione del ponte. È considerato un totale di 5³ combinazioni, riportate in *Tabella 4.10*, al fine di valutare tutte le possibili situazioni. Il numero effettivo di combinazioni, tuttavia, si riduce tenendo conto che i tre fattori non hanno lo stesso peso nella definizione della CdA. Una maggiore importanza è data alla classe di vulnerabilità del ponte: se essa è alta, la CdA è alta qualsiasi siano le classi di pericolosità ed esposizione. In tal modo, poiché la classe di vulnerabilità è strettamente connessa con il livello di difettosità, un ponte con uno stato di conservazione preoccupante ha sempre una CdA e quindi una priorità elevata.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.4.1

In caso di parità di CdA, con il fine di programmare le azioni conseguenti alla classificazione (ad es. valutazioni accurate, priorità di intervento, ecc.), il gestore adotterà opportuni criteri per introdurre una pianificazione all'interno delle singole classi. Si potrà attribuire priorità alle strutture in ordine decrescente di vulnerabilità: ad esempio se il Ponte 1 è caratterizzato da classe di pericolosità ALTA e classe di vulnerabilità MEDIA, mentre il Ponte 2 da classe di pericolosità MEDIA e classe di vulnerabilità ALTA e, in accordo con la *Tabella 4.10*, entrambi i ponti ricadono in CdA ALTA, può essere opportuno attribuire la priorità di intervento al Ponte 2 rispetto al Ponte 1.

Tabella 4.10. – Determinazione della **classe di attenzione strutturale e fondazionale** in funzione di classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

Classe di pericolosità ALTA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Alta		Medio-Alta		
	Media	Alta	Medio-Alta		Media	
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media			
	Bassa	Medio-Alta	Media		Medio-Bassa	

Classe di pericolosità MEDIO-ALTA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta			Media
	Media	Medio-Alta		Media		
	Medio-Bassa	Media			Medio-Bassa	
	Bassa	Media		Medio-Bassa		Bassa

Classe di pericolosità MEDIA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta			Media	
	Media	Medio-Alta	Media			
	Medio-Bassa	Media			Medio-Bassa	
	Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa	

Classe di pericolosità MEDIO-BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media		Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		Bassa
	Bassa	Media	Medio-Bassa		Bassa	

Classe di pericolosità BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Medio-Alta	Media			Medio-Bassa
	Media	Media			Medio-Bassa	Bassa
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa	
	Bassa	Medio-Bassa		Bassa		

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.4.2

Ove siano disponibili delle verifiche di sicurezza di cui al cap. 8.3 NTC2018, che abbiano preso in considerazione lo stato attuale di conservazione dell'opera e tutti gli elementi di degrado, e l'opera risulti adeguata dal punto di vista delle condizioni statiche, la CdA strutturale fondazionale è da considerarsi bassa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.2.4.3

Chiarimenti sulla Classe di Attenzione strutturale-fondazionale

Si chiarisce che, ove siano disponibili delle valutazioni di sicurezza di cui al cap. 8.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni che abbiano preso in considerazione lo stato di conservazione dell'opera e tutti gli elementi di degrado, dalle quali risulti che l'opera sia adeguata dal punto di vista delle condizioni statiche, e ove sia riscontrata l'assenza di una significativa evoluzione della difettosità dell'opera dal momento dell'acquisizione della conoscenza necessaria ai fini della valutazione, la Classe di Attenzione strutturale-fondazionale è da considerarsi bassa

4.3 CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA

4.3.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO

La definizione della classe di attenzione sismica tiene conto dei principali parametri che influenzano la risposta alle azioni sismiche dei ponti e delle reti stradali di appartenenza. Analogamente alla definizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale, la classe di attenzione sismica dipende da fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari. Questi ultimi sono indicati in *Tabella 4.11*. L'approccio utilizzato per la determinazione della CdA sismica è, ancora una volta, un approccio per classi e operatori logici, per cui devono essere seguiti flussi logici che permettono di passare dalla classificazione dei parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e, infine, alla determinazione della Classe di Attenzione sismica.

Come si evince dal confronto della *Tabella 4.11* e della *Tabella 4.1*, relativa alla classe di attenzione strutturale e fondazionale, alcuni dei parametri considerati sono gli stessi. A differenza però dei parametri di esposizione, ossia Traffico Medio Giornaliero (TGM) e luce media della campata, alternative stradali, tipologia di ente scavalcato e trasporto di merci pericolose, la cui definizione può essere presa tal quale a quella impiegata per la CdA strutturale e fondazionale, i parametri di vulnerabilità, quali schema statico, luce e materiale e livello di difettosità, seppur indicati con la stessa dicitura, sono tenuti in conto con criteri, in parte o del tutto, differenti.

Tabella 4.11. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica	Categoria di sottosuolo
Vulnerabilità	Schema strutturale, luce e materiale Livello di difettosità	Criteri di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose

Strategicità dell'opera

4.3.2 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Per la valutazione della pericolosità sismica si fa riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti assumendo come parametri significativi l'accelerazione di picco al suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi, la categoria topografica e l'amplificazione stratigrafica valutata attraverso l'approccio semplificato della categoria di sottosuolo. Sono quindi parametri legati esclusivamente alle caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche del sito di costruzione. Per le definizioni specifiche si rimanda al D.M. 17.01.2018 (§ 3.2).

Mentre i primi due parametri, accelerazione di picco al suolo e categoria topografica, si possono determinare in tutti i casi mediante i dati relativi alla localizzazione del ponte raccolti nel censimento di Livello 0 e dalle ispezioni visive di Livello 1, la determinazione della categoria di sottosuolo necessita di informazioni specifiche sulla stratigrafia del sottosuolo, ricavabili dai documenti progettuali disponibili o da indagini apposite. Nel caso tali informazioni non siano disponibili, occorre procedere in via cautelativa assumendo la peggiore tra le categorie di sottosuolo ragionevolmente prevedibili per quel sito.

La combinazione di tali parametri permette di determinare la classe di pericolosità sismica associata ai ponti, secondo il percorso logico in *Figura 4.4*.

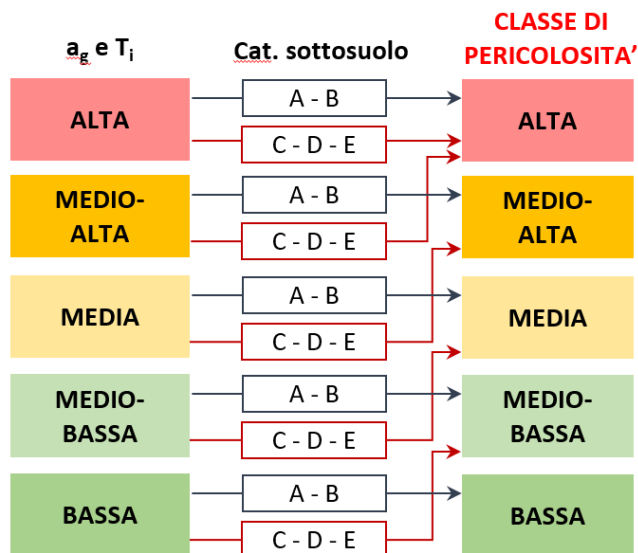


Figura 4.4. – Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica

Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica

La classificazione riportata nella prima colonna della *Figura 4.4* si basa sulle sole accelerazioni di picco al suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi, e sulla categoria topografica (T_i) della zona di interesse e si determina mediante la *Tabella 4.12*. Classi più alte sono associate ad accelerazioni maggiori e a condizioni topografiche più sfavorevoli (es. T4).

Tabella 4.12. – Classificazione sulla base dell'accelerazione di picco al suolo (a_g) e categoria topografica (T_i)

	T1, T2, T3	T4
$a_g \geq 0,25 \text{ g}$	ALTA	ALTA
$0,15 \text{ g} \leq a_g < 0,25 \text{ g}$	MEDIO-ALTA	ALTA
$0,10 \text{ g} \leq a_g < 0,15 \text{ g}$	MEDIA	MEDIO-ALTA
$0,05 \text{ g} \leq a_g < 0,10 \text{ g}$	MEDIO-BASSA	MEDIA
$a_g < 0,05 \text{ g}$	BASSA	MEDIO-BASSA

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.2.1

Ai fini della definizione della Classe di Attenzione sismica, si chiarisce che, qualora il valore della accelerazione di picco al suolo riferita a suoli rigidi a_g sia minore di 0,05g, si può attribuire direttamente la classe di pericolosità BASSA, indipendentemente dagli ulteriori parametri (categoria topografica, di sottosuolo, criteri di progettazione antisismica etc).

Categoria di sottosuolo

L'indicazione della categoria di sottosuolo permette di correggere la classificazione effettuata con i precedenti parametri, per tener conto dell'amplificazione dell'accelerazione sismica in funzione del sito di costruzione, seguendo il flusso logico in *Figura 4.4*.

Qualora tale parametro non sia deducibile dalle informazioni disponibili, si assume la peggiore tra le categorie di sottosuolo ragionevolmente prevedibili per quel sito.

4.3.3 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ SISMICA

Analogamente a quanto già visto per la vulnerabilità strutturale e fondazionale, la vulnerabilità sismica dei ponti dipende dalle caratteristiche strutturali influenti sul loro comportamento sismico, e da come esse rispondono alle richieste indotte dalle azioni sismiche. La sua classificazione è pertanto determinata considerando i parametri indicati in *Tabella 4.11* e combinati secondo la *Figura 4.5*.

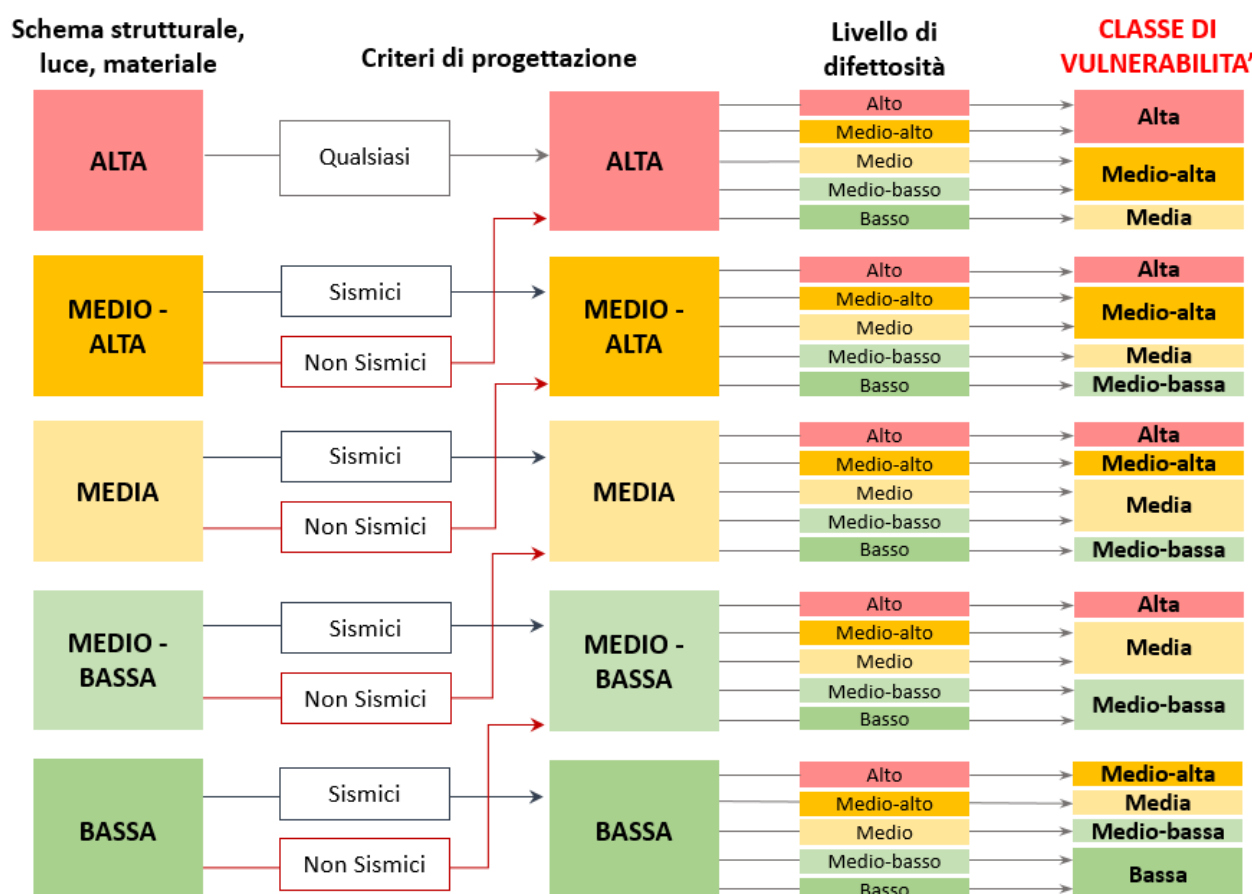


Figura 4.5. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità sismica

Schema strutturale, luce e materiali

È evidente che ponti caratterizzati da schemi statici, luci e materiali differenti hanno comportamenti diversi nei confronti delle azioni sismiche. Ciò dipende essenzialmente dalla ridondanza degli schemi statici e dal loro comportamento dinamico, dal numero di elementi vulnerabili soggetti all'azione sismica, quali pile ed apparecchi di appoggio, dalla massa delle strutture, dal livello di conservazione dei manufatti al momento dell'evento sismico e dalla presenza di eventuali altri elementi che contribuiscono ad incrementare la vulnerabilità del ponte alle azioni sismiche; è questo il caso, ad esempio, degli impalcati sghembi. Per tener conto

di tali differenze di comportamento, la prima classificazione che occorre fare dipende da schema statico, luce e materiale, secondo le indicazioni in *Tabella 4.13*.

Tabella 4.13. – Classificazione sulla base di schema statico, luce e materiale

		Schema isostatico		Schema iperstatico	
		L medio-piccola	L elevata	L medio-piccola	L elevata
C.A.	Singola campata	Media	Medio-alta	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
C.A.P.	Singola campata	Media	Medio-alta	-	-
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
Muratura	Singola campata	-	-	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	-	-	Medio-bassa	Media
Acciaio	Singola campata	Medio-bassa	Medio-bassa	Bassa	Bassa
	Multi-campata	Media	Media	Medio-bassa	Medio-bassa

dove per luci medio-piccole si intendono luci non maggiori di 20 m, per luci elevate le luci maggiori di 20 m.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.1

Con riferimento alla *Tabella 4.13* e in accordo alle definizioni di cui alla *Tabella 4.6*, si può considerare:

- Schema isostatico: tutti quei ponti rientranti nelle categorie a travate appoggiate, a travate Gerber/ponti a stampella con travi tampone e a soletta appoggiata;
- Schema iperstatico: tutti quei ponti rientranti nelle categorie ponti a travate continue/telaio, ponti ad arco massiccio, e ponti a soletta incastrata.

Con riferimento ai ponti ad arco sottile si considerino come isostatici ponti ad arco a tre cerniere e ponti ad arco a via inferiore (a spinta eliminata) con impalcato in semplice appoggio su elementi verticali. Per le altre tipologie di ponti ad arco sottile si consideri uno schema iperstatico.

In caso di schemi statici non contemplati nella *Tabella 4.6*, la scelta della classificazione sulla base di schema statico, luce e materiale è effettuata e lasciata al valutatore.

Nel caso di tipologie strutturali che prevedono la presenza di diversi materiali, come ad esempio i ponti in sistema misto acciaio-calcestruzzo, si procede in analogia con le considerazioni fatte per uno dei due materiali ritenuto, dal valutatore, prevalente nella determinazione del comportamento strutturale sismico. Nella Tab.4.13 "L" indica la luce della campata più lunga.

Secondo la classificazione proposta, ponti multi-campata, ad esempio, sono da considerare più vulnerabili di ponti a singola campata, in quanto caratterizzati da un maggior numero di pile, elementi particolarmente vulnerabili alle azioni sismiche.

La *Tabella 4.13* è da considerarsi indicativa ma non esaustiva di tutte le possibili situazioni che possono verificarsi. Casi non previsti devono essere valutati opportunamente e, se possibile, ricondotti a quelli considerati in *Tabella 4.13*.

Qualora il ponte abbia campate con diverso schema statico (ad esempio, campate centrali ad arco e campate di riva con travate appoggiate), si consideri la classe di vulnerabilità più gravosa tra quelle associate ai due differenti schemi statici.

La presenza di ulteriori parametri di vulnerabilità sismica che caratterizzano specificatamente lo schema strutturale del ponte, quali impalcato sghembi o in curva, pile a singola colonna o con altezza molto disuniforme, presenza di appoggi particolarmente soggetti a degrado (quali appoggi a pendolo interamente in metallo, tipicamente soggetti ad elevata corrosione) o comunque situazioni che determinano concentrazioni di sforzo, moti rotazionali o quant'altro costituisce un aggravante alla vulnerabilità del ponte è da tenersi in debito conto.

A tal fine, la classificazione basata su schema statico, luce e materiale, riportata in *Tabella 4.13*, si modifica nella seguente maniera:

- la classe di vulnerabilità di schema statico, luce e materiale aumenta di un livello nel caso siano presenti elementi di vulnerabilità (da Bassa a Medio-bassa, da Medio-bassa a Media, e così via);

- la classe di vulnerabilità di schema statico, luce e materiale resta invariata nel caso gli elementi di vulnerabilità siano assenti o poco influenti sul comportamento del sistema strutturale.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.1bis

In assenza di specifiche indicazioni, quale utile riferimento per la determinazione della classe di vulnerabilità di schema statico, luce e materiale, in Tabella 4.13, si considera il materiale dell'impalcato.

In presenza di strutture in legno, metallo (ponti storici), misti acciaio-calcestruzzo, si suggerisce di fare riferimento ai valori di vulnerabilità riferiti al materiale acciaio in Tabella 4.13.

In casi particolari, si possono riscontrare in opera configurazioni rare di ponti a singola campata in c.a.p. con schema iperstatico. In questi casi, si può fare riferimento alle classi di vulnerabilità indicate in Tabella 4.13 riferite al c.a.

Per opere aventi schema statico, luce e materiale, non contemplate o non riconducibili a quelli della Tabella 4.13 (es. ponti strallati o ponti sospesi), la scelta della classe di vulnerabilità è demandata al valutatore, che la motiva in modo esauriente e adeguato.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.1ter

Si chiarisce che gli eventuali *“ulteriori parametri di vulnerabilità sismica che caratterizzano specificamente lo schema strutturale del ponte”*, elencati nel testo delle Linee Guida al § 4.3.3, sono effettivamente da tenere in conto - come aggravante alla vulnerabilità sismica del ponte - solo nel caso in cui non siano stati già opportunamente considerati in fase di progettazione.

Con riferimento alla *“presenza di appoggi particolarmente soggetti a degrado”*, è importante sottolineare che l'eventuale incremento di *“vulnerabilità di schema statico, luce e materiale”* è associato alla potenziale elevata sensibilità al degrado che caratterizza alcune tipologie di sistemi di appoggio, compromettendone la risposta sismica. Tale maggiore vulnerabilità è intrinseca e indipendente dalla circostanza che lo stato di degrado sia già manifesto. Viceversa, il cattivo stato di conservazione degli appoggi, di per sé, non induce incremento di vulnerabilità di schema statico, luce e materiale, ma viene tenuto in conto nella valutazione del livello di difettosità.

Nell'ambito della valutazione della vulnerabilità associata al rischio frane, si precisa che la modifica della classe di vulnerabilità di schema statico, luce e materiale prevista dalle Linee guida (Tabella 4.13) per effetto della presenza di ulteriori parametri di vulnerabilità sismica può non essere applicata.

Criteri di progettazione

Ulteriore variabile che influenza il comportamento sismico delle strutture è la modalità con cui esse sono state progettate e, in particolare, l'impiego di criteri di progettazione sismica specifici. Occorre infatti considerare l'eventualità per cui l'azione sismica non sia stata affatto messa in conto nel progetto delle strutture. Tali aspetti sono strettamente correlati con la normativa tecnica di riferimento per la progettazione del ponte. Storicamente, infatti, ad eccezione di decreti specifici emanati a seguito di forti terremoti avvenuti sul territorio italiano, sulla base dei quali erano individuate zone caratterizzate da alta sismicità (ad esempio il Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909 a seguito del terremoto di Messina), occorre aspettare la legge n. 64 del 1974 per avere un approccio più attento al problema della sicurezza sismica e addirittura l'Ordinanza n. 3274 del 2003 per la classificazione sismica su base probabilistica dell'intero territorio italiano e per le prime norme tecniche di progettazione antisismica in un unico documento comprendente le diverse tipologie di costruzioni e materiali.

Sulla base della normativa di progettazione, l'anno di progettazione e il sito di costruzione, pertanto, occorre distinguere i ponti realizzati secondo criteri di progettazione antisismica e i ponti realizzati con criteri nei quali l'azione sismica non era messa in conto nella progettazione. Ovviamente, i primi hanno un livello di vulnerabilità minore rispetto ai secondi: tale considerazione porta a correggere la classificazione fatta sulla base di schema statico, luce e materiale secondo il flusso logico rappresentato in *Figura 4.5*.

Qualora l'analisi della documentazione disponibile non consenta di risalire alle informazioni necessarie per la valutazione dei criteri di progettazione adottati, si considera il ponte come progettato con criteri *“non sismici”*, per procedere a favore di sicurezza.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.2

Con riferimento alla normativa di progettazione, possono considerarsi realizzati secondo criteri di progettazione antisismica i ponti realizzati in accordo con le Normative adottate a partire dal 2003. Possono altresì considerarsi realizzati secondo criteri di progettazione antisismica anche quelle strutture realizzate in data antecedente al 2003, per le quali si dispongano elaborati progettuali che diano contezza di tale assunzione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.2 bis

Si chiarisce che, per i ponti per i quali non si hanno a disposizione documenti di progetto, ma che, a valle delle ispezioni, abbiano chiaramente evidenziato la presenza di efficaci elementi sismo-resistenti come, ad esempio, sistemi di isolamento, dispositivi di dissipazione antisismici, ai soli fini della classificazione del rischio, è possibile assumere equivalentemente la presenza di "criteri di progettazione antisismica".

Livello di difettosità

Il livello di difettosità e, quindi, lo stato di conservazione del ponte è stimato elaborando i dati raccolti dalle ispezioni visive di Livello 1 (§ 3), ponendo l'attenzione sugli elementi e i dettagli costruttivi particolarmente influenti sul comportamento sismico globale del manufatto. Si tratta quindi di pile, strutture di fondazione, apparecchi di appoggio, ecc.

L'elaborazione dei dati porta alla distinzione di 5 livelli di difettosità, definiti con criteri simili a quelli utilizzati per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale e fondazionale, riportati nel § 4.2.2, ma relativi al comportamento sismico delle strutture, come si legge dalla *Tabella 4.14*.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3.0

Si chiarisce che, ai fini dell'applicazione delle disposizioni della *Tabella 4.14* per la valutazione del livello di difettosità sismica dell'opera, è necessario fare riferimento alle Istruzioni Operative 4.3.3.3.

Tabella 4.14– Livelli di difettosità ai fini della classificazione della vulnerabilità sismica

ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità su elementi critici (apparecchi di appoggio, sezioni di estremità delle pile) o presenza di condizioni critiche (cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio)
MEDIO-ALTO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi può compromettere il comportamento globale dell'opera nei confronti delle azioni sismiche
MEDIO	Difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata su elementi la cui crisi non può compromettere il comportamento globale nei confronti delle azioni sismiche dell'opera e difetti di gravità alta ($G=5$) e di intensità medio-bassa
MEDIO-BASSO	Difetti di gravità medio-alta ($G=4$) e di intensità medio-bassa e difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato
BASSO	Difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo

Il significato dei termini in *Tabella 4.14* è descritto al § 3.2 del presente documento.

Le informazioni che permettono di identificare il livello di difettosità del ponte si ricavano dalle *schede di difettosità* proposte nell'Allegato B e descritte nel § 3.2 del presente documento.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3

Il **livello di difettosità** per la determinazione della classe di attenzione relativa al rischio sismico si determina a seguito dell'esecuzione dell'ispezione visiva e della redazione delle schede di difettosità, in modo analogo a quanto fatto per

il rischio strutturale fondazionale.

Per quanto concerne la modalità di compilazione delle schede, che deve consentire (come già indicato) la chiara e univoca identificazione di ogni elemento della struttura in termini di composizione, posizione nel manufatto e stato di conservazione, si rimanda alle *ISTRUZIONI OPERATIVE* compilate per il livello di difettosità per il rischio strutturale fondazionale (§ 4.2.2). Sulla base dei dati raccolti dall'ispettore, si prosegue con la valutazione del livello di difettosità anche per il rischio sismico, la quale deve essere svolta analizzando criticamente tutte le informazioni a disposizione. In merito al rischio sismico, le LLGG classificano il livello di difettosità così come riportato in Tabella 4.14, avendo definito:

- con *elemento critico* nell'ambito del rischio sismico, un elemento che presenta particolari caratteristiche di fragilità e la cui crisi può comportare la crisi dell'intera struttura o di una sua porzione, oppure la perdita di funzionalità dell'opera stessa in caso di accadimento di un evento sismico;
- con *condizione critica* nell'ambito del rischio sismico, una condizione di possibile collasso in caso di accadimento di un evento sismico, generata dalla presenza di difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità ed estensione elevata su un insieme significativo di elementi per numero e/o per posizione.

Inoltre, sempre in riferimento alla Tabella 4.14, per livelli di difettosità alto e medio-alto devono intendersi quei difetti che possono pregiudicare la sicurezza o la funzionalità di una campata o dell'opera, sempre in ambito sismico.

Per la definizione dei termini "intensità" ed "estensione" si rimanda a quanto detto in merito all'interno delle *ISTRUZIONI OPERATIVE* compilate per il livello di difettosità per il rischio strutturale fondazionale (§ 4.2.2).

Analogamente a quanto detto per la definizione del livello di difettosità nell'ambito del rischio strutturale fondazionale, si vuole precisare inoltre che anche i diversi elementi strutturali e di connessione possono essere raggruppati all'interno delle seguenti categorie:

- *Sovrastruttura*: raggruppa tutti gli elementi e le strutture orizzontali del ponte che costituiscono l'impalcato. Può essere costituita da più campate.
- *Sottostruttura*: raggruppa le pile, le spalle, le antenne, le fondazioni del ponte. Ai fini della determinazione del livello di difettosità, si associano ad ogni pila i rispettivi apparecchi di appoggio.

Tale classificazione è rilevante ai fini del processo di determinazione del livello di difettosità dell'intera opera, come descritto nel seguito.

C. DIFETTOSITA' DEI SINGOLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per la determinazione del livello di difettosità dei singoli elementi strutturali che compongono una campata (o l'intera opera) occorre seguire le indicazioni riportate nei seguenti paragrafi.

Elementi con Livello di difettosità ALTO

Sono caratterizzati da un livello di difettosità alto gli elementi per i quali si riscontrano difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da comportare la possibile crisi incipiente dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura in caso di accadimento di un evento sismico.

In particolare, rientrano in tale categoria gli elementi critici (apparecchi di appoggio, sezioni di estremità delle pile) con difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di qualsiasi intensità o le strutture nelle quali si riscontrano delle condizioni critiche (cinematismi in atto, incipiente perdita di appoggio).

Elementi con Livello di difettosità MEDIO-ALTO

In tale classe ricadono gli elementi strutturali caratterizzati da difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da poter compromettere nel tempo il funzionamento dell'elemento e/o dell'intera struttura in caso di accadimento di un evento sismico, ma dei quali è ancora possibile controllarne l'evoluzione mediante adeguati sistemi di ispezione e monitoraggio, in attesa dell'esecuzione di eventuali interventi atti a sanarli.

In particolare, negli elementi (non critici) con livello di difettosità medio-alto è possibile riscontrare difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$) e di intensità elevata, tali da poter innescare in futuro una crisi che potrà compromettere il comportamento della struttura in ambito sismico.

Elementi con Livello di difettosità MEDIO

In tale classe ricadono gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento globale dell'opera nei confronti delle azioni sismiche, per i quali si riscontrano, non necessariamente in contemporanea, le seguenti tipologie di difetti:

- difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$ o $G=4$), di intensità elevata ed estensione qualsiasi;
- difetti di gravità alta ($G=5$), di intensità medio-bassa ed estensione tale da compromettere la capacità dell'elemento.

Inoltre, si suggerisce di associare un livello di difettosità medio agli elementi la cui crisi può compromettere potenzialmente il comportamento statico globale dell'opera per i quali si riscontrano difetti di gravità alta o medio-alta ($G=5$, $G=4$) ma con intensità medio-bassa, e quindi ci si trovi lontani dall'incipiente collasso dell'opera.

Oltre a quanto riportato sopra, si suggerisce di associare un livello di difettosità medio anche agli elementi critici per i quali si riscontrino difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità e di estensione media o alta.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3a

Si chiarisce che l'alinea *"In tale classe ricadono gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento globale dell'opera nei confronti delle azioni sismiche per i quali [...]"*, riportata nel testo delle Linee Guida per gli "Elementi con Livello di difettosità MEDIO", deve essere letta come: "In tale classe ricadono gli elementi non critici e, in generale, gli elementi la cui crisi non compromette il comportamento globale dell'opera nei confronti delle azioni sismiche, per i quali [...]". Anche nel seguito l'alinea indicata sarà da intendersi nel modo specificato, in particolare per gli "Elementi con livello di difettosità MEDIO-BASSO" e per gli "Elementi con livello di difettosità BASSO".

Inoltre, in assenza di indicazioni specifiche, quale utile riferimento, si può associare un livello di difettosità sismica MEDIO agli elementi la cui crisi può compromettere potenzialmente il comportamento globale dell'opera, per i quali si riscontrano difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), con intensità qualsiasi ed estensione media o alta.

Elementi con Livello di difettosità MEDIO-BASSO

In linea generale, in tale classe ricadono gli elementi strutturali per i quali si riscontrano, in numero elevato, difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da NON comportare l'incipiente crisi dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura, né di comprometterne il funzionamento nel tempo nei confronti delle azioni sismiche.

Nello specifico, in tale classe ricadono:

- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento nei confronti delle azioni sismiche della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità medio-alta ($G=4$) con intensità medio-bassa o difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità, in numero elevato;
- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento nei confronti delle azioni sismiche della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità alta ($G=5$), intensità medio-bassa ed estensione tale da non compromettere l'integrità statica dell'elemento.
- gli elementi la cui crisi può compromettere il comportamento nei confronti delle azioni sismiche della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità ed estensione bassa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3b

Con riferimento agli *"elementi la cui crisi può compromettere il comportamento nei confronti delle azioni sismiche della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità ed estensione bassa"*, si chiarisce, che, nel caso in cui tali difetti siano in numero elevato, il livello di difettosità da assegnargli è MEDIO-BASSO.

Si può associare un livello di difettosità MEDIO-BASSO anche agli elementi critici per i quali si riscontrano, in numero elevato, difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità, di estensione bassa.

Elementi con Livello di difettosità BASSO

In linea generale, in tale classe ricadono gli elementi strutturali per i quali si riscontrano, in numero esiguo, difetti di gravità, intensità, estensione e posizione tali da NON comportare l'incipiente crisi dell'elemento stesso e/o dell'intera struttura, né di comprometterne il funzionamento nel tempo nei confronti delle azioni sismiche.

Nello specifico, in tale classe ricadono:

- gli elementi non critici e/o la cui crisi non compromette il comportamento nei confronti delle azioni sismiche della campata (o globale dell'opera) per i quali si riscontrano, in numero esiguo, difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$) e di qualsiasi intensità.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3c

Si chiarisce che agli elementi critici e agli elementi non critici la cui crisi, nel caso di azione sismica, può compromettere il comportamento "locale" della campata o "globale" dell'opera, per i quali si riscontri un numero esiguo di difetti di gravità media e bassa ($G=3$, $G=2$, $G=1$), di qualsiasi intensità e di estensione bassa, quale chiarimento, si può associare un livello di difettosità BASSO.

D. DIFETTOSITA' DI UNA CAMPATA, DI OGNI ELEMENTO DELLA SOTTOSTRUTTURA E DELL'INTERA OPERA

La determinazione del livello di difettosità di una campata, degli elementi della sottostruttura (o dell'intera opera) è conseguente ad una valutazione di tipo globale, che presuppone un'analisi critica della tipologia, intensità ed estensione dei difetti rilevati sui singoli elementi strutturali, nonché della loro localizzazione, al fine di determinare se questi possano provocare un'incipiente o potenziale crisi di un elemento strutturale e/o della campata o dell'intera opera in ambito sismico.

Per una campata ed ogni sottogruppo della sottostruttura (pila e relativi elementi di appoggio, spalle e relativi elementi di appoggio):

- qualora anche soltanto un elemento, o più d'uno, abbia un livello di difettosità alto o medio-alto, alla campata è assegnato il livello di difettosità massimo riscontrato sugli elementi strutturali principali;
- nel caso in cui non si rilevino condizioni tali da determinare un livello di difettosità alto o medio-alto sugli elementi costituenti, alla campata e ad ogni sottogruppo della sottostruttura può essere associato un livello di difettosità medio, medio-basso o basso, in funzione del livello di difettosità riscontrato sui singoli elementi ispezionati. Una volta determinato il livello di difettosità per ogni singolo elemento, si può assegnare il livello di difettosità alla campata quantificando in percentuale il numero di elementi che ricadono nei diversi livelli (medio, medio-basso e basso):
 1. se almeno il 50% degli elementi è caratterizzato da un livello di difettosità medio, il livello di difettosità complessivo della campata si può assumere medio;
 2. se meno del 50% di elementi è caratterizzato da un livello di difettosità medio, il livello di difettosità complessivo della campata può essere assunto medio-basso o basso. In particolare, si suggerisce di assumere quello associato alla percentuale maggiore degli elementi ricadenti nei due livelli (medio-basso e basso).

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.3.3d

In assenza di specifiche indicazioni, onde evitare anomalie nella valutazione complessiva (soprattutto in presenza di tipologie di elementi seriali e caratterizzati da un livello di difettosità omogeneo), è opportuno che l'assegnazione della difettosità sismica non si basi esclusivamente sulla mera numerosità degli elementi ricompresi in un singolo sottogruppo della sottostruttura o in una singola campata, ma sia valutata considerando anche la rilevanza strutturale degli elementi.

Per l'intera opera:

- è assegnato il livello di difettosità massimo riscontrato sulle campate e su ogni sottogruppo della sottostruttura. Ricadono in questo caso anche quelle strutture la cui sicurezza, per lo schema statico adottato, non può essere valutata con riferimento a singole porzioni dell'opera.

Nel caso di opere costituite da più campate la cui statica può essere valutata campata per campata, si raccomanda comunque di assegnare un livello di difettosità ad ogni campata, e solo successivamente attribuire all'intera opera il livello massimo riscontrato sulle sue campate.

4.3.4 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE SISMICA

La definizione del livello di esposizione sismica segue gli stessi criteri e considera gli stessi parametri impiegati per la stima della classe di esposizione strutturale e fondazionale al § 4.2.3, ossia il livello di TGM e la luce media della campata, la presenza di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato e il trasporto di merci pericolose, oltre che un ulteriore parametro legato alla strategicità del ponte in caso di emergenza. La classe di esposizione sismica pertanto è determinata a partire dalla classe di esposizione strutturale e fondazionale, valutata secondo lo schema in *Figura 4.3*, corretta in funzione della strategicità dell'opera come in *Figura 4.6*.

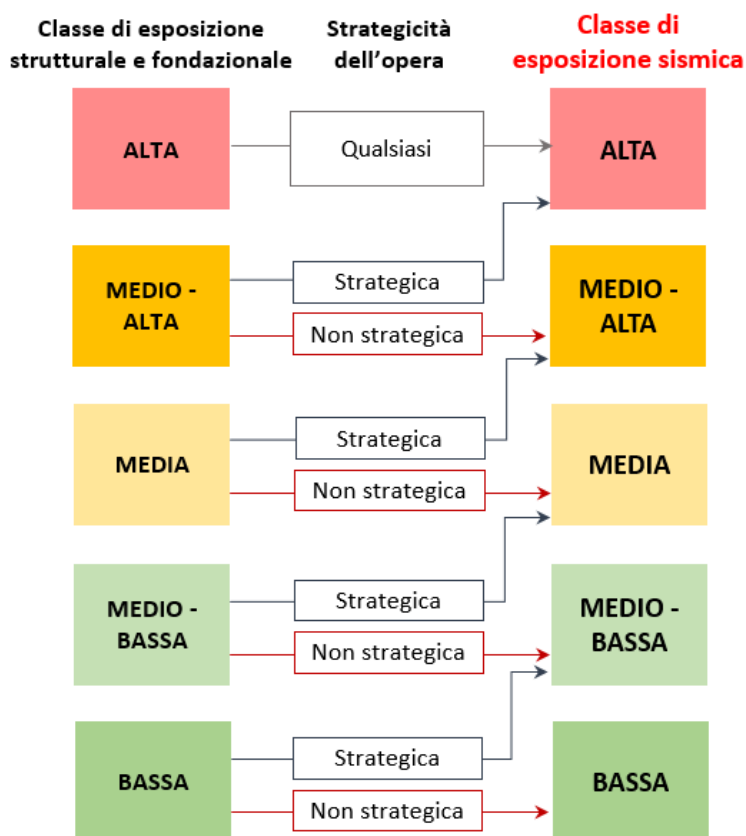


Figura 4.6. – Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica

Traffico Medio Giornaliero (TGM) e luce media della campata, alternative stradali, tipologia di ente scavalcato e trasporto di merci pericolose

Relativamente ai parametri necessari per la determinazione della classe di esposizione strutturale e fondazionale, si rimanda al paragrafo § 4.2.3 per definizioni e criteri di classificazione.

Strategicità dell'opera

Le opere considerate di interesse strategico, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, devono avere una più elevata priorità, in quanto è necessario garantirne l'efficienza in caso di emergenza.

A tal fine, la classe identificata secondo gli altri parametri aumenta, come riportato in *Figura 4.6*, nel caso in cui il ponte rientri tra le opere ritenute di interesse strategico per le emergenze a seguito di un evento sismico (con riferimento alle Condizioni Limite di Emergenza) o, in altre parole, se rientra nelle classi d'uso III o IV. Tali opere sono espressamente indicate dalla protezione civile o dall'ente amministrativo competente.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.4.1

In caso di mancanza di differenti specifiche indicazioni, la strategicità dell'opera è valutata con riferimento al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003.

4.3.5 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA A LIVELLO TERRITORIALE

Note le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica del ponte, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) sismica, combinandole in modo analogo a quanto visto per la determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale, ossia come mostrato in *Tabella 4.10*.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.5.1

Nell'ambito delle competenze, discrezionalità e responsabilità del gestore, in accordo con quanto riportato nel Paragrafo 4.2.4, in caso di parità di CdA, con il fine di programmare le azioni conseguenti alla classificazione (ad es. valutazioni accurate, priorità di intervento, ecc.), si potranno definire opportuni criteri per introdurre una pianificazione all'interno delle singole classi. Si potrà, ad esempio, attribuire priorità alle strutture ricadenti nella

classe di vulnerabilità maggiore: se il Ponte 1 è caratterizzato da classe di pericolosità ALTA e classe di vulnerabilità MEDIA, mentre il Ponte 2 da classe di pericolosità MEDIA e classe di vulnerabilità ALTA e, in accordo con la Tabella 4.10, entrambi i ponti ricadono in CdA ALTA, può risultare opportuno attribuire, da parte del gestore, la priorità di intervento al Ponte 2 rispetto al Ponte 1.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.3.5.2

Ove siano disponibili delle valutazioni accurate relative alle condizioni sismiche eseguite alla luce delle NTC2018 o secondo le presenti LLGG, dalle quali il ponte risulti adeguato sismicamente e che prendano comunque in considerazione lo stato attuale di conservazione dell'opera e tutti gli elementi di degrado, il ponte è da considerarsi adeguato da punto di vista delle condizioni sismiche, e la CdA sismica è da considerarsi bassa.

4.4 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

4.4.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO DI DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE LEGATA AL RISCHIO FRANE

La definizione della classe di attenzione (CdA) associata al rischio frane tiene conto di alcuni specifici parametri che indicano il livello di coinvolgimento della struttura in eventuali fenomeni franosi, sia dal punto di vista spaziale che temporale.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.1.1

Il livello di coinvolgimento è definito nel seguito come estensione dell'interferenza. Essa è valutata in relazione al volume significativo di terreno relativo al ponte, così come definito nelle NTC2018 al § 6.2.2. L'interferenza può essere considerata diretta se il movimento franoso comprende in tutto o in parte il volume significativo, mentre può essere considerata indiretta se il movimento franoso potrebbe coinvolgere la struttura solo a seguito della sua eventuale mobilitazione.

Analogamente alla definizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica, la classe di attenzione per rischio frane fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari. L'approccio utilizzato per la determinazione della CdA frane è, ancora una volta, un approccio per classi e operatori logici. Ne consegue che devono essere seguiti flussi logici che permettano di passare dalla classificazione dei parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e, infine, alla determinazione della Classe di Attenzione frane.

Si sottolinea che, a differenza dell'usuale nomenclatura impiegata per la definizione degli altri tipi di CdA analizzati, si adotta il termine di "suscettibilità" piuttosto che di pericolosità; in tal modo, viste le specifiche difficoltà intrinseche alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento, si vuole far riferimento alla sola previsione spaziale, trascurando la previsione di tipo temporale.

I parametri primari e secondari individuati come rilevanti per la determinazione delle CdA frane sono riportati in Tabella 4.15.

Tabella 4.15. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane

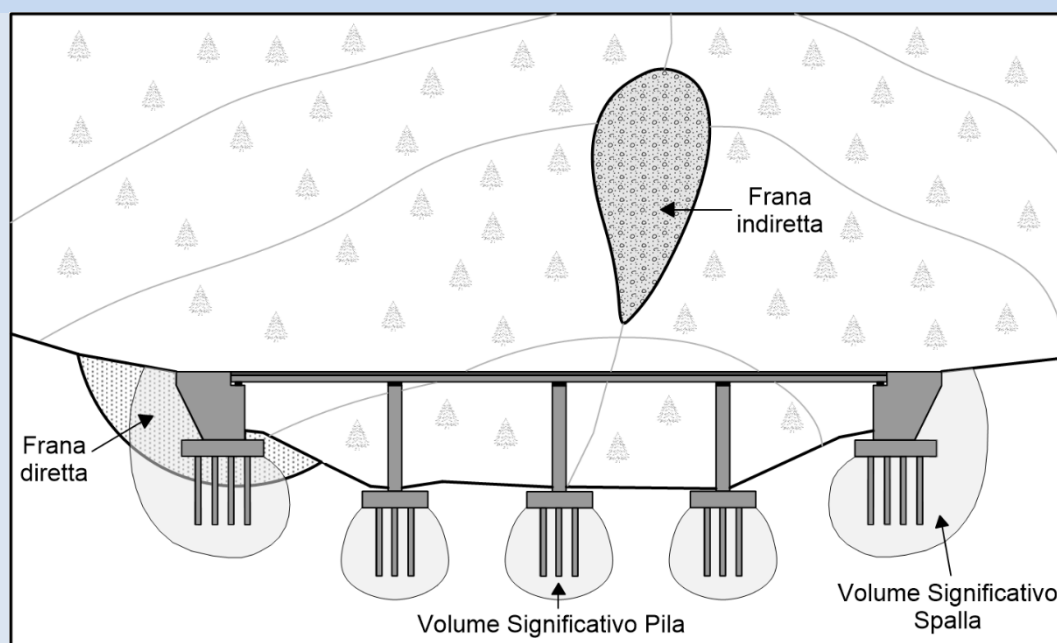
	Parametri primari	Parametri secondari
Suscettibilità	Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)	Incertezza di modello Misure di mitigazione
Vulnerabilità	Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni	Estensione dell'interferenza
Esposizione	Livello di TGM e luce della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

Come si evince confrontando la

Tabella 4.15 con quelle relative alla classe di attenzione strutturale e fondazionale (Tabella 4.1) e alla classe di attenzione sismica (Tabella 4.11), alcuni dei parametri considerati sono gli stessi. In particolare, i parametri di esposizione – livello di TGM e luce della campata, alternative stradali, tipologia di ente scavalcato e strategicità dell'opera – hanno definizione analoga a quella impiegata per i parametri di esposizione associati alla CdA strutturale e fondazionale e CdA sismica, così come il parametro di vulnerabilità legato alla tipologia e alla robustezza strutturale del ponte, il quale è classificato in maniera analoga a quanto previsto per la determinazione della CdA sismica.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.1.2

Si ricorda che nelle NTC2018 per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Pertanto, si specifica che l'interferenza è definita *diretta* se il volume di terreno in frana interseca il volume significativo, mentre si definisce *indiretta* se il volume instabile, a seguito della sua mobilizzazione, coinvolge la struttura del ponte (es. crollo in roccia o flusso detritico che potrebbe colpire parte dell'impalcato o una pila).



4.4.2 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ LEGATO AL RISCHIO FRANE

Il livello di pericolosità/suscettibilità legato al rischio frane dipende dall'ambito geomorfologico (aree di pianure/versanti) in cui il ponte è inserito. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento di Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive di Livello 1.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.1

Sono in linea generale da escludere i ponti localizzati in aree sub-pianeggianti.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.1bis

Si ricorda che le condizioni geomorfologiche locali sono da valutare con attenzione anche per contesti pianeggianti, in quanto il contesto sub-pianeggiante potrebbe non essere di per sé sufficiente ad escludere la probabilità di accadimento di un evento franoso coinvolgente la struttura in esame. Tale conclusione deve essere comunque frutto di una ispezione dell'area circostante il ponte da parte del tecnico incaricato preposto alla compilazione delle schede di Livello 1 inerenti al contesto geomorfologico e geologico del sito in cui è situata l'opera.

Qualora si possa ritenere che la probabilità di accadimento di un evento franoso coinvolgente la struttura in esame sia assente, non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.2

Nel caso in cui si possa ritenere che il rischio frane sia assente, ai fini della applicazione della tabella 4.29, potrà assumersi CdA frane Bassa.

D'altra parte, come già discusso nel § 3.5, l'eventuale collocazione delle strutture in aree coinvolte da accadimenti pregressi, inducono la necessità di proseguire con valutazioni più approfondite di Livello 4, superando, quindi, la valutazione della classe di attenzione e la conseguente classificazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.3

Prima di proseguire con le valutazioni approfondite di Livello 4, si procede con le ispezioni speciali così come indicato nella istruzione operativa inserita al § 3.6.

Documentazioni quali le carte di pericolosità e rischio delle Autorità distrettuali territorialmente competenti, così come quelle di altri processi pianificatori o derivanti da analisi tecnico-scientifiche, costituiscono solo un primo riferimento, utile ma certamente non esaustivo. A tal riguardo, particolarmente utili risultano quindi le ispezioni visive e la compilazione delle appropriate schede di rilievo di Livello 1. È inoltre da evidenziare che in talune situazioni l'analisi di dati satellitari potrebbe rivelarsi utile a definire instabilità nel tempo e nello spazio costituendo le strutture del ponte riferimenti per le elaborazioni.

Per la valutazione della suscettibilità da frana sono utilizzati alcuni dei consueti parametri di classificazione e la nomenclatura propria delle "instabilità di versante", quali la magnitudo, la velocità e lo stato di attività, i quali sono poi combinati con parametri secondari legati alle incertezze di modello e alla presenza o meno di misure di mitigazione, secondo lo schema in Figura 4.7.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.4

Le consuete classificazioni delle instabilità di versante, come quelle riportate nell'Appendice B, non sono state sviluppate con riferimento a manufatti come i ponti che possono essere molto sensibili ai fenomeni franosi, inoltre hanno una chiara finalità di Protezione Civile. Di conseguenza la classificazione qui riportata non deve essere vista in relazione alla struttura del ponte, per la quale ad esempio alcune classi di velocità sono sostanzialmente prive di significato, ma deve essere riferita esclusivamente all'instabilità di versante per la quale rappresenta un mero strumento di individuazione della Classe di Suscettibilità.

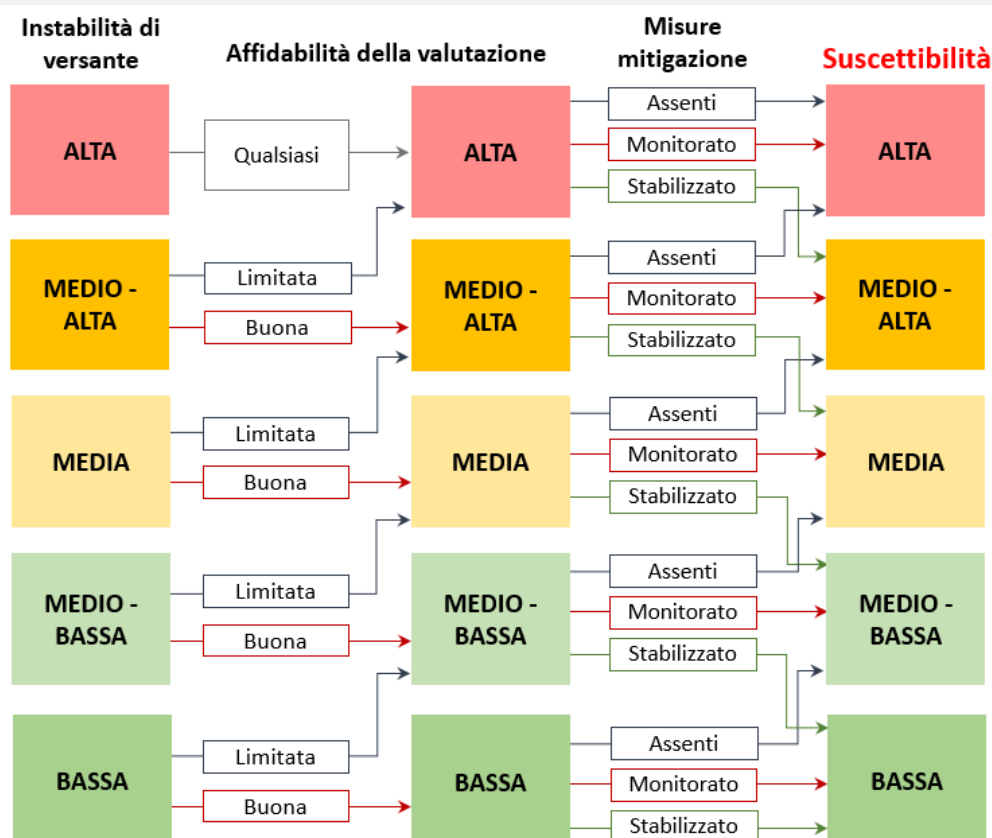


Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità

Instabilità di versante (Magnitudo, velocità, stato di attività)

Ribadita la complessità della previsione di accadimento, si è valutata fondamentale la definizione di tre parametri ritenuti di specifica importanza nel caso di ponti e di viadotti, rilevabili o deducibili dalle documentazioni e dalle osservazioni in situ. Tali parametri sono:

- parametro dello stato di attività per le frane riconosciute (P_A), o di grado di criticità per le frane potenziali (P_C).
- parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale P_V ;
- parametro della magnitudo, intesa come volume mobilizzabile P_M .

Al fine di giungere ad una gerarchizzazione del livello di instabilità di versante, è qui proposto un sistema a punti, attribuendo valori numerici ai tre parametri principali considerati, così come si ricava dalla *Tabella 4.16*. La valutazione del livello di instabilità è quindi sviluppata sulla base della sommatoria dei valori associati ai tre parametri ovvero $P = P_A + P_M + P_V$ per le frane riconosciute e $P = P_C + P_M + P_V$ per le frane potenziali, secondo la classificazione in *Tabella 4.167*.

Il compito del tecnico incaricato in sede di sopralluogo è quello di confermare la presenza di frane già riconosciute, sia in atto che inattive, nonché di individuare eventuali frane potenziali (ivi compresi i movimenti franosi superficiali indotti da pioggia), non riconosciute alla data dell'ispezione. In quest'ultimo caso sarà compito del tecnico incaricato illustrare, anche avvalendosi di documentazione fotografica, le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geo-meccaniche che hanno portato a individuare la frana potenziale, e segnalare l'eventuale necessità di approfondimenti e verifiche tese a definirne con maggior dettaglio i caratteri geometrici e cinematici e le cause di innesco presunte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.5

Un "fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato", così come riportato nelle schede di Livello 1, può essere rilevato dalla cartografia esistente o mediante il sopralluogo qualora si individuino segni di movimenti franosi.

Il fenomeno franoso è potenziale, ovvero riconosciuto ma non ancora studiato, se è possibile osservare durante il sopralluogo dei deboli segni precursori recenti o è possibile riconoscere evidenti segni precursori come quelli proposti dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.) per l'individuazione di frane potenziali, tra cui ad esempio i rigonfiamenti e l'apertura di fratture sulla superficie del terreno.

Inoltre, nella definizione di fenomeni potenziali dovrebbero essere incluse anche quelle situazioni in cui la configurazione geomorfologica e l'assetto stratigrafico possano essere tali da indurre potenziale instabilità (ad esempio erosione al piede di un argine o di un versante a seguito di una piena eccezionale).

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.5bis

Si ricorda che un fenomeno franoso potenziale o presunto è un fenomeno non censito ufficialmente, ma del quale, durante il sopralluogo, è possibile riconoscere le evidenze morfologiche, o segni di fenomeni gravitativi in atto o pregressi, tra cui, ad esempio, i rigonfiamenti e l'apertura di fratture sulla superficie del terreno.

Nella definizione di fenomeni potenziali vanno incluse anche quelle situazioni in cui la configurazione geomorfologica e l'assetto stratigrafico possano essere tali da indurre potenziale instabilità (ad esempio evidenze di fenomeni erosione al piede di un argine o di un versante).

Per la definizione dei parametri primari e secondari delle frane potenziali, il contesto geomorfologico e geologico può essere caratterizzato prestando particolare attenzione:

- alle caratteristiche dei versanti circostanti il ponte;
- alle caratteristiche litotecniche dei materiali coinvolti;
- alle proprietà idrogeologiche;
- all'uso del suolo;
- alla presenza di segni di movimenti in atto o pregressi

Per quanto attiene allo stato di attività (parametro P_A), per le frane riconosciute si fa riferimento alla *Tabella 4.16*; per quelle potenziali, in funzione delle evidenze geomorfologiche e del tipo di fenomeno riconosciuto, il tecnico incaricato valuta un

preliminare livello di criticità. Per questo parametro occorre aver cura di fare scelte cautelative, in funzione dei possibili cinematismi, delle loro evoluzioni e dei meccanismi di innesco, specialmente laddove possono manifestarsi eventi caratterizzati da fenomeni improvvisi e dotati di elevate energie d'impatto. Infine, sulla scorta della tipologia di frana e dei cinematismi in atto o potenziali, e avvalendosi delle classificazioni disponibili nella letteratura scientifica, si definiscono le possibili massime velocità di spostamento (parametro P_V) e la magnitudo attesa (parametro P_M); entrambi concorrono alla definizione del grado di instabilità di versante complessivo (parametro P).

Tabella 4.16. - Attribuzione dei valori numerici dei parametri di suscettibilità in funzione della di stato di attività, magnitudo, e velocità dell'evento

Stato di attività per le frane riconosciute o di grado di criticità per le frane potenziali

Frana riconosciuta (P_A)	Attiva al momento del rilievo o con segni di movimento in atto	Inattiva Non attiva da diversi cicli stagionali	Stabilizzata
Frana potenziale (P_C)	Altamente critica	Critica	Scarsamente critica
P_A o P_C	5	3	1

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.6

Nella compilazione delle schede le frane riconosciute come sospese o quiescenti rientrano nella classe delle frane attive.

Massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale (V)

	$V > 3 \text{ m/min}$	$3 \text{ m/min} \leq V < 1,8 \text{ m/h}$	$1,8 \text{ m/h} \leq V < 13 \text{ m/mese}$	$13 \text{ m/mese} \leq V < 1,6 \text{ m/anno}$	$V < 1,6 \text{ m/anno}$
	<i>Estremamente/molto rapida</i>	<i>Rapida</i>	<i>Moderata</i>	<i>Lenta</i>	<i>Estremamente/molto lenta</i>
P_V	5	4	3	2	1

Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi (M)

	$M > 10^6$	$2,5 \cdot 10^5 < M \leq 10^6$	$10^4 < M \leq 2,5 \cdot 10^5$	$10^2 < M \leq 10^4$	$M \leq 10^2$
	<i>Estremamente/molto grande</i>	<i>Grande</i>	<i>Media</i>	<i>Piccola</i>	<i>Molto piccola</i>
P_M	15	12	9	6	3

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.7

In relazione all'applicazione della Tabella 4.16, in sede di sopralluogo è opportuno confermare l'attività di frane già riconosciute, distinguendo tra: attive (comprese quelle sospese o quiescenti), inattive, stabilizzate.

Nel caso di frane riconosciute, la magnitudo (definita attraverso il volume della massa di terreno instabile) deve essere determinata sulla base delle conoscenze disponibili sul fenomeno, integrando le informazioni cartografiche con dati litostratigrafici e litotecnici.

In caso di incertezza può sovrastimarsi, secondo scenari verosimili, la magnitudo.

Riconoscendo la difficoltà di valutare correttamente il parametro della massima velocità attesa, si suggerisce di compilare la scheda utilizzando la Tabella B.2 riportata a pag. 3 di Appendici ed Allegati. È altresì utile consultare le schede riportate nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.).

L'importanza di questi fattori suggerisce di consultare autorità (Comuni) ed enti territoriali (Autorità di Bacino o Protezione Civile) per valutare accuratamente i tre parametri di suscettibilità.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.7bis

Si ricorda che, nel caso di frane riconosciute, la magnitudo (definita attraverso il volume della massa di terreno instabile) deve essere determinata sulla base delle conoscenze disponibili sul fenomeno, integrando le informazioni cartografiche con dati litostratigrafici e litotecnici. In caso di incertezza nella determinazione della magnitudo si deve procedere ad una stima ragionata e cautelativa da giustificare adeguatamente.

Per una più appropriata valutazione dei parametri primari e secondari, nel caso di incertezze o di fenomeni potenziali, si può far riferimento alle seguenti aree di interesse:

- **Area Diagnostica.** Poiché le frane raramente sono fenomeni isolati, si può ispezionare un'area sufficientemente ampia da permettere la caratterizzazione del contesto geomorfologico e geologico allo scopo di verificare se esso sia incline all'instabilità di versante. L'esame dell'area può essere preparato mediante l'analisi della documentazione e della cartografia esistente e delle immagini satellitari disponibili.
- **Area Geomorfologica Significativa.** L'ispezione di quest'area, contenuta nella precedente, consente di identificare le caratteristiche dei suoi rilievi e versanti, anche in relazione alle caratteristiche litotecniche dei materiali affioranti e dei processi geomorfologici prevalenti.
- **Area di Pertinenza.** È l'area che può dare origine alle instabilità di versante interagenti con il ponte. Pertanto, questa è l'area da ispezionarsi accuratamente da parte del tecnico incaricato.

Dall'esame di tali aree si potranno ricavare tutte le informazioni necessarie alla compilazione della scheda di ispezione, ricordando che nei parametri primari occorre tenere conto di quanto si ricava dai fenomeni che caratterizzano l'Area Diagnostica. L'estensione di quest'area copre un raggio di alcune centinaia di metri nell'intorno del ponte.

Tabella 4.17 - Determinazione dell'instabilità di versante in funzione della sommatoria dei valori numerici associati ai parametri influenti

$P = P_A + P_M + P_V$ (frana riconosciuta) $P = P_C + P_M + P_V$ (frana potenziale)	Instabilità di versante
20 – 25	ALTA
16 – 19	MEDIO – ALTA
12 – 15	MEDIA
8 – 11	MEDIO – BASSA
5 – 7	BASSA

Incerteza di modello

Le considerazioni prima sviluppate riguardanti le difficoltà relative alla previsione di tipo spaziale, che dipendono anche dai dati pregressi disponibili e dalla stessa storia degli eventi, hanno indotto la necessità di introdurre un parametro secondario relativo all'incertezza delle determinazioni effettuate. Il livello di conoscenza del fenomeno o della situazione predisponente gli eventi di frana, infatti, può essere naturalmente di vario grado. Qualora il livello di conoscenza (LC) del cinematismo di frana e della corrispondente previsione spaziale sia limitato, è opportuno tenere conto della conseguente incertezza nella definizione del livello di suscettibilità. Di conseguenza, l'affidabilità delle valutazioni si riduce e il livello di suscettibilità e, quindi, la classe di attenzione aumenta necessariamente. Ciò si traduce nella correzione delle classi definite in funzione dell'instabilità di versante, secondo lo schema in *Figura 4.7*.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.8

Nel caso di frane potenziali è opportuno considerare il livello di conoscenza limitato.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.8bis

In assenza di ulteriori valutazioni e quale utile riferimento, qualora la caratterizzazione della frana potenziale sia stata fatta coerentemente alle Istruzioni Operative 4.4.2.5, 4.4.2.5bis e 4.4.2.7bis, è possibile considerare un livello di conoscenza (affidabilità della valutazione) buono.

Misure di mitigazione

Ulteriore parametro che determina la classe di suscettibilità del ponte è la presenza o meno di sistemi di stabilizzazione, quali reti e gallerie paramassi, barriere per flussi detritici, interventi di drenaggio, strutture di sostegno, ecc., oltre che sistemi di monitoraggio, e il loro attuale stato di conservazione. Si distinguono pertanto i ponti *stabilizzati*, qualora le misure di mitigazione del rischio dette sopra siano effettivamente attuate, *monitorati*, nel caso di presenza di sistemi di monitoraggio atti a controllare l'insorgere di eventuali eventi franosi, e i ponti per cui le misure di stabilizzazione/monitoraggio risultano assenti. L'assenza di sistemi finalizzati alla mitigazione del rischio frane induce l'innalzamento della classe di suscettibilità e quindi della classe di attenzione, secondo il flusso logico mostrato in *Figura 4.7*.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.2.9

Analogamente a quanto riportato per l'instabilità di versante, anche in riferimento alle misure di mitigazione si sottolinea che la presenza di misure di mitigazione quali reti paramassi o barriere per flussi detritici, pur essendo spesso ininfluenti sulla stabilità del ponte, sono da considerare solo al fine della valutazione della Classe di Suscettibilità.

La figura 4.7 riporta le tre opzioni: "assenti", "monitorato" e "stabilizzato".

Nelle schede relative al rischio frane, la presenza delle misure di mitigazione è trattata nel quadro "Area riconosciuta pericolosa".

L'opzione "assenti" è correlata alle voci "Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato" e "Fenomeno riconosciuto e studiato"; l'opzione "monitorato" è correlata alla voce "Fenomeno modellato e oggetto di monitoraggio"; l'opzione "stabilizzato" è correlata alla voce "Fenomeno oggetto di opere di mitigazione".

Nel caso di "Fenomeno riconosciuto e studiato" o "Fenomeno modellato e oggetto di monitoraggio" è necessario allegare i riferimenti ai documenti di approfondimento tecnico che hanno portato alla scelta della relativa voce.

Nel caso di "Fenomeno oggetto di opere di mitigazione" è necessario specificare la tipologia di intervento, comprensiva di documentazione fotografica, e ove possibile allegare i riferimenti ai documenti di progetto.

4.4.3 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ LEGATO AL RISCHIO FRANE

Alla base della definizione della vulnerabilità nel caso di rischio frane vi è la classificazione delle tipologie strutturali dei ponti. Quest'ultima è poi corretta mediante un parametro legato all'estensione dell'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura o parti di essa, secondo lo schema in *Figura 4.8*.

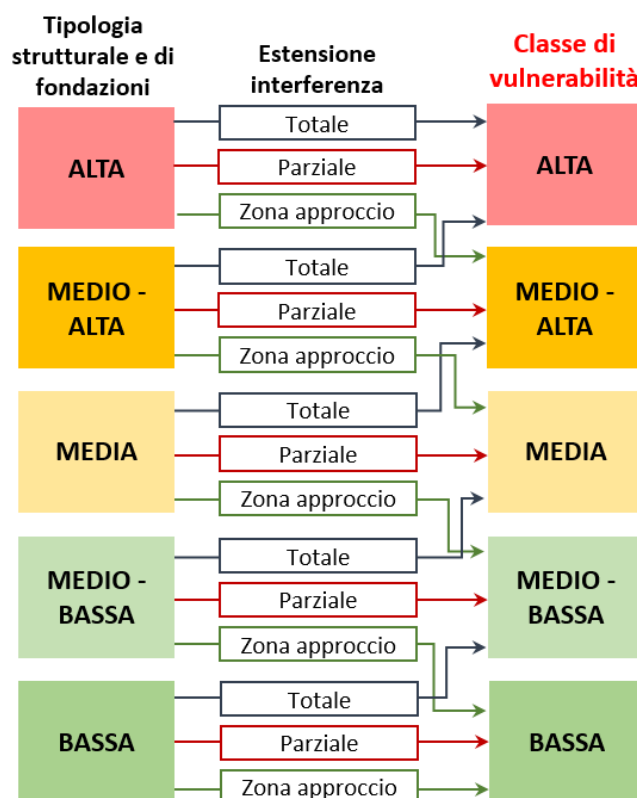


Figura 4.8. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità

Tipologia strutturale e tipologia di fondazioni

La classificazione delle tipologie strutturali è funzione della robustezza, ossia la capacità di resistere alle azioni generate nel movimento frana, generalmente non considerate in modo esplicito nella progettazione.

Sono quindi classificate le tipologie strutturali, in funzione di:

- schema statico, luce e materiale distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e luci medio-piccole e elevate;
- numero di campate, distinguendo ponti a singola campata e ponti multi-campate,

in modo analogo alla classificazione utilizzata per stimare la vulnerabilità sismica. Si rimanda pertanto alla *Tabella 4.13* per la determinazione della classe di vulnerabilità associata alla tipologia strutturale, da impiegare nella stima della classe di attenzione associata al rischio frane.

In riferimento al rischio frane, un dettaglio particolarmente rilevante è la tipologia di fondazioni di spalle e pile, specialmente in relazione alla loro capacità di resistere alle azioni orizzontali.

Per tale ragione, nel caso in cui ci sia evidenza, dalla documentazione originaria disponibile e/o dalle ispezioni visive effettuate, di presenza di fondazioni superficiali o comunque non progettate per resistere alle azioni orizzontali, occorre aumentare di un livello la classe definita in *Tabella 4.13*.

Estensione dell'interferenza

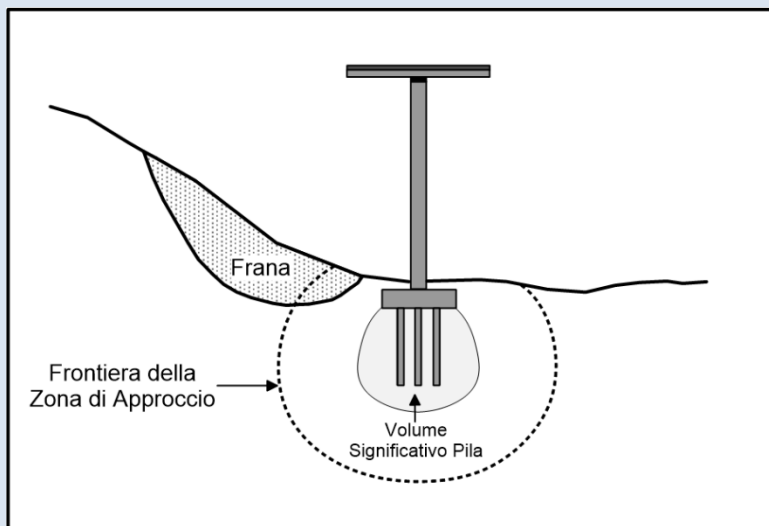
La definizione della vulnerabilità nel caso del rischio frane, tenuto conto della stretta dipendenza sussistente tra la tipologia di spostamento delle masse e le dimensioni, fa riferimento al livello dell'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura o parti di essa, mediante un parametro secondario "estensione dell'interferenza" che modifica la classificazione basata sulle tipologie strutturali, secondo lo schema in *Figura 4.8*. La presenza di questa interferenza, sebbene in alcuni tipi d'instabilità potrebbe essere di difficile definizione, può condurre ad una classe di attenzione maggiorata qualora sia l'intera struttura ad essere coinvolta, o comunque interessata dall'instabilità.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.4.3.1

Si ricorda che la Zona di Approccio, presente nel flusso logico della *Figura 4.8* in relazione all'estensione dell'interferenza, è definibile come la zona esterna e immediatamente adiacente al volume significativo. L'interferenza di questa porzione di sottosuolo con un movimento franoso produce/potrebbe produrre degli effetti tenso-deformativi sulla frontiera del volume significativo e quindi una interazione del movimento franoso con la

struttura del ponte attraverso il volume significativo stesso, inteso come parte della struttura, come illustrato nella figura seguente.

Questo concetto può essere applicato anche alle frane indirette, così come definite nella Istruzione Operativa 4.4.1.1, di conseguenza si suggerisce di valutare per esse la selezione dell'opzione Zona di Approccio nel flusso logico di Figura 4.8.



4.4.4 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE LEGATO AL RISCHIO FRANE

La definizione del livello di esposizione nel caso di rischio frane segue gli stessi criteri e considera gli stessi parametri impiegati per la stima del livello di esposizione sismica al § 4.3.4, ossia il livello di TGM e la luce media della campata, la presenza di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato e la strategicità del ponte in caso di emergenza, prescindendo dal parametro "trasporto di merci pericolose". Tali parametri si combinano secondo lo schema in *Figura 4.6*.

4.4.5 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE FRANE A LIVELLO TERRITORIALE

Note le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione legate al rischio frane del ponte, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) frane, combinandole come riportato in *Tabella 4.18*.

*Tabella 4.18. – Determinazione della **classe di attenzione frane** in funzione di classe di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione*

Classe di suscettibilità ALTA						
		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta			Medio-Alta	
	Medio-Alta	Alta		Medio-Alta		
	Media	Alta	Medio-Alta			
	Medio-Bassa	Medio-Alta				Media
	Bassa	Medio-Alta			Media	

Classe di suscettibilità MEDIO-ALTA						
		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta	Medio-Alta			
	Medio-Alta	Medio-Alta				Media
	Media	Medio-Alta			Media	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Media		
	Bassa	Medio-Alta	Media			

Classe di suscettibilità MEDIA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Medio-Alta			Media	
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media			
	Medio-Bassa	Media				Medio-Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa	

Classe di suscettibilità MEDIO-BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Medio-Alta	Media			
	Medio-Alta	Media				Medio-Bassa
	Media	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		
	Bassa	Media	Medio-Bassa			

Classe di suscettibilità BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Alta	Media			Medio-Bassa	
	Media	Media	Medio-Bassa			
	Medio-Bassa	Medio-Bassa				Bassa
	Bassa	Medio-Bassa			Bassa	

4.5 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO IDRAULICO DEGLI ATTRAVERSAMENTI FLUVIALI

In generale, il rischio idraulico dipende da alcuni specifici parametri rappresentativi del coinvolgimento della struttura sia da un punto di vista spaziale che temporale.

Per la preliminare valutazione spaziale, si può ritenere assente il rischio idraulico per strutture che non vadano ad interessare l'alveo (come definito dal § 5.1.2.3. della Circolare 21.01.2019 n.7 del CSLLPP) con le pile e/o con le spalle e sempre che l'impalcato garantisca il rispetto del franco libero così come prescritto nelle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018, § 5.1.2.3). Tali valutazioni possono essere suffragate o dall'evidenza dei luoghi o da idonea "relazione di compatibilità idraulica" (D.M. 17.01.2018). Pertanto, qualora si possa ritenere che il determinarsi di un evento di piena non possa coinvolgere la struttura in esame, non risulta necessario proseguire con la valutazione della CdA idraulica, in quanto non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1

Dal momento che classe di attenzione complessiva di un ponte può essere definita, secondo le Tab. 4.29 e 4.28, solo se viene attribuito un valore anche alla classe di attenzione idraulica, nei casi in cui il ponte non attraversi un corso d'acqua o qualora si possa ritenere che il corso d'acqua non interferisca con la struttura, si attribuisce al ponte la classe di attenzione idraulica Bassa.

Ai fini dell'applicazione del livello di approfondimento in esame, si può ritenere che il corso d'acqua non interferisca con la struttura se il ponte presenta contemporaneamente le seguenti caratteristiche:

- luce > 25 m riferita alla luce libera della sezione idraulica dell'attraversamento, misurata in direzione ortogonale al deflusso della corrente;
- distanza tra il fondo dell'alveo e la quota minima dell'intradosso dell'impalcato > 15 m;
- presenza di fondazioni profonde;
- assenza di notizie di fenomeni erosivi e di scalzamento.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1bis

Con riferimento all'Istruzione Operativa 4.5.1, si chiarisce che, se la distanza tra il fondo dell'alveo e la quota minima dell'intradosso dell'impalcato supera i 15 m, è possibile ritenere che l'impalcato possa non interferire con la piena. In tal caso potrà essere attribuita al ponte Classe di Attenzione per Sormonto BASSA.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2

In assenza di specifiche indicazioni e quale utile riferimento, nel caso in cui la struttura non attraversi un corso d'acqua ma si trovi in area allagabile per la piena P2 ove sia verificato che le quote degli intradossi degli impalcati non risultino inferiori alla quota idrica relativa alla P2, valutata secondo la metodologia prevista nel livello 1 delle Linee Guida, e si possano escludere fenomeni erosivi di tipo localizzato, è possibile attribuire Classe di Attenzione idraulica BASSA.

D'altra parte, come già discusso nel § 3.6, l'eventuale collocazione delle strutture in aree coinvolte da accadimenti pregressi (fenomeni di escavazione, allagamenti, modificazioni delle sezioni idriche, riduzione delle capacità idrovettatrici dell'alveo, ecc.), inducono la necessità di proseguire con ispezioni speciali, con grado di approfondimento maggiore rispetto alle ispezioni iniziali previste per la valutazione della classe di attenzione.

Documentazioni quali le carte di pericolosità e rischio delle Autorità distrettuali territorialmente competenti, così come quelle di altri processi pianificatori o derivanti da analisi tecnico-scientifiche, costituiscono solo un primo riferimento, adeguato ma certamente non esaustivo. A tal riguardo, particolarmente utili risultano quindi le ispezioni visive e la compilazione delle appropriate schede di rilievo di Livello 1.

Analogamente alle precedenti definizioni di "classe di attenzione" associata a problematiche strutturali e fondazionali, sismiche e da frane, la classe di attenzione per rischio idraulico fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Si ritiene opportuno adottare il termine "suscettibilità" piuttosto che pericolosità, come per il rischio frane, attese le specifiche difficoltà intrinseche relative alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento. Tuttavia non si può prescindere, in merito alla consistenza dell'accadimento, dall'associazione della previsione spaziale e di quella temporale, in ragione dell'estensione, dell'intensità e della durata del verificarsi di eventi meteorologici con specifiche caratteristiche.

I parametri generalmente rilevanti per la determinazione del rischio idraulico sono sintetizzati in *Tabella 4.19*.

Tabella 4.19 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità/Suscettibilità	Probabilità di accadimento e consistenza evento	Incertezza di modello Misure di mitigazione
Vulnerabilità	Resilienza all'evento naturale	Tipologia, magnitudo e frequenza evento Tipologia ed efficienza opere di mitigazione

Esposizione	Danno potenziale	Tipologia di ente scavalcato Importanza strategica dell'opera Estensione del danno
-------------	------------------	--

Come si evince dalla *Tabella 4.19*, al contrario di altre tipologie di rischio, occorre tenere in conto la probabilità di accadimento dell'evento meteorico e la sua consistenza in termini di intensità, durata ed estensione areale sulla base dei dati registrati, di analisi speditive e degli studi sugli sviluppi a lungo termine, tra cui, in particolare, le conseguenze dei cambiamenti climatici.

Comunque, atteso che tra i principali fenomeni che da un punto di vista idraulico possono dare luogo a condizioni di crisi dei ponti occorre considerare i fenomeni di sormonto o di insufficienza di franco e quelli di erosione del fondo alveo di natura generalizzata e/o localizzata, si riportano nel seguito alcuni approcci speditivi per la loro stima. Tali fenomeni sono valutati separatamente al fine di determinare due classi di attenzione distinte: una relativa al rischio idraulico da sormonto o insufficienza di franco e una al rischio idraulico di crisi per erosione. Quest'ultima, in particolare, si ricava dalla combinazione delle classi di attenzione relative ai due fenomeni erosivi di diversa natura, ovvero l'erosione generalizzata e l'erosione localizzata. La classe di attenzione idraulica complessiva è quindi la più severa tra le due classi di attenzione determinate.

È indispensabile precisare che, atteso il carattere probabilistico intrinseco del problema idraulico, allorquando si individuano ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, con evidenze di possibile interferenza con la struttura, si rende indispensabile procedere ad ispezioni speciali ed eventualmente alle verifiche di dettaglio (Livello 4) con idonea modellazione idraulica atta a valutare il comportamento dell'intero reticolo idrografico su cui insiste il ponte, tenendo altresì in conto le eventuali esistenti opere di laminazione/mitigazione delle piene. In tali casi, la valutazione del periodo di ritorno per il quale il ponte non sia più rispondente alle NTC2018 e Circolare n.7/2019 CSLLPP consentirà di assumere i conseguenti provvedimenti di messa in sicurezza, quali ad esempio monitoraggio e fissazione delle soglie di allarme.

4.5.1 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO

Per la valutazione della pericolosità/suscettibilità idraulica, oltre alle caratteristiche geometriche della struttura in rapporto con il territorio attraversato, occorre fare riferimento ai livelli di pericolosità come definiti dal D.Lgs. 23.02.2010, n. 49 – “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni” e simili che assumono la probabilità di accadimento come parametro principale di gerarchizzazione:

- a) alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno dell'evento fino a 500 anni (P1: bassa probabilità, 2 per mille di superamento in un anno);
- b) alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (P2: media probabilità, tra il 5 ed il 10 per mille);
- c) alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (P3: elevata probabilità, tra il 2 ed il 5%).

Le analisi del livello di pericolosità hanno intrinseci problemi di incertezza relativi al reticolo idrografico modellato, in quanto spesso viene trascurato quello secondario che, in talune condizioni morfologiche, può dare luogo anche alle maggiori criticità.

Inoltre, il livello di pericolosità/suscettibilità legato al rischio idraulico dipende dall'ambito geomorfologico nonché dall'evidenza di fenomeni pregressi, o peggio in atto, di scalzamento delle pile. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento di Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive di Livello 1 ovvero, successivamente all'implementazione, con l'elaborazione di dati di monitoraggio delle strutture in aree ad evidenza di rischio idraulico.

La valutazione della pericolosità dovrà inoltre tenere in conto la tipologia e il livello di efficienza di eventuali opere di mitigazione o di laminazione delle portate di piena.

Volendo stimare la suscettibilità idraulica con riferimento al **sormonto arginale o insufficienza di franco**, è possibile operare una valutazione speditiva dei franchi idraulici per i corsi d'acqua principali e secondari, in particolare se oggetto di mappatura ai sensi della direttiva alluvioni, stimando in prima approssimazione il franco *F* come la differenza tra la quota minima dell'intradosso del ponte con la stimabile quota di pelo libero, da individuare come segue:

- per alvei non arginati di corsi d'acqua principali, la quota massima della fascia di terreno interessata dallo scenario di alluvione P2; analogamente per lo scenario di alluvione P3;
- per alvei non arginati di corsi d'acqua secondari, la quota massima della fascia di terreno interessata dallo scenario di alluvione P2;
- per alvei arginati, la minore quota della sommità arginale esistente incrementata di 20 cm.

Pertanto, è possibile stimare speditivamente le classi di suscettibilità per sormonto in alvei oggetto di mappatura per esondazione come nella *Tabella 4.20* e nella *Tabella 4.21* relative ai corsi d'acqua principali e secondari, rispettivamente.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.1

Definizione quota minima intradosso per ponti ad arco (Figura C.1)

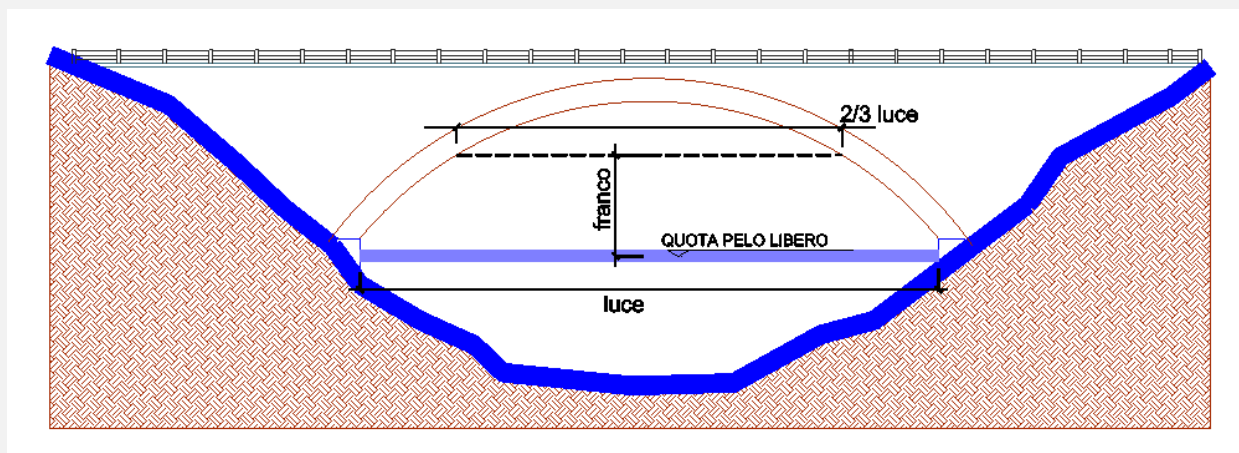


Figura C.1 – Ponte ad arco.

Nei ponti ad arco la quota dell'intradosso dell'impalcato potrà essere riferita all'altezza corrispondente ad una corda centrale di lunghezza pari a $2/3$ della luce.

Corsi d'acqua arginati (Figura C.2)

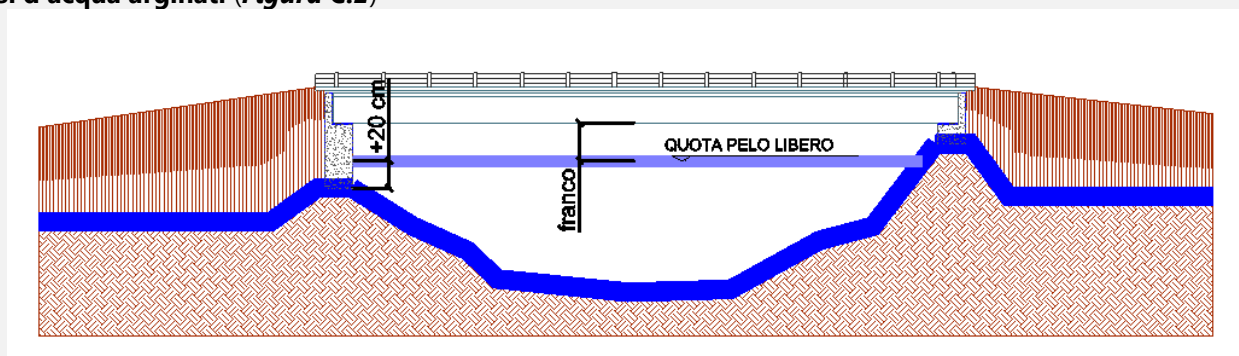


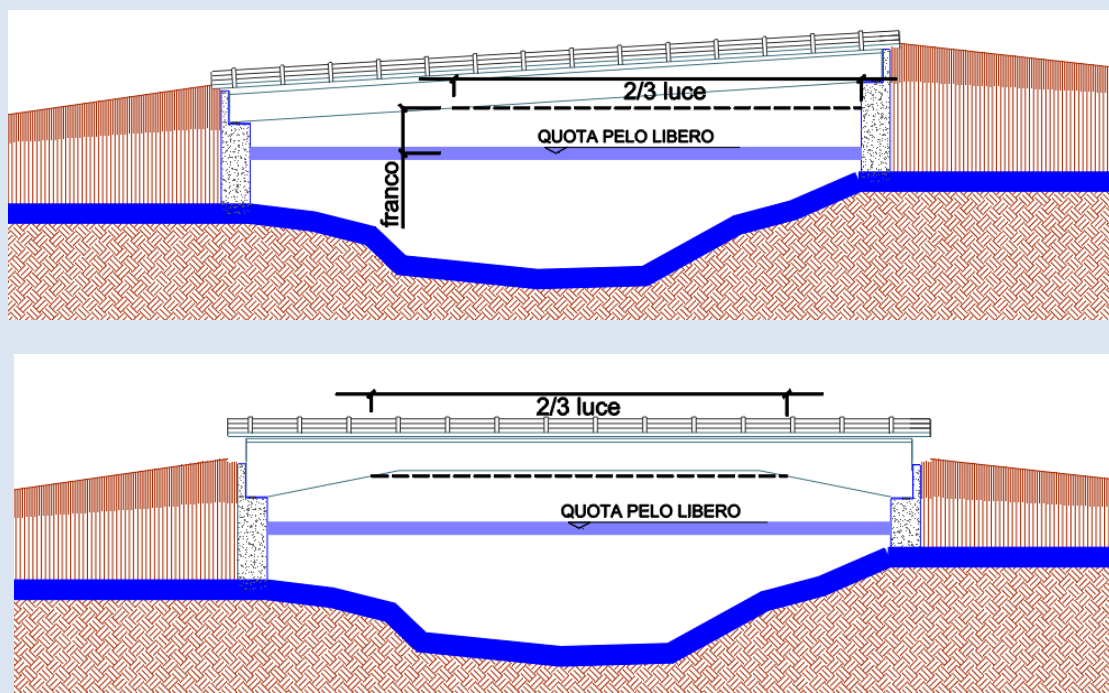
Figura C.2 – Corso d'acqua arginato: determinazione della quota del pelo libero e del franco idraulico.

Non essendo prevista nelle Linee Guida una specifica tabella per la determinazione della classe di pericolosità per sormonto, potrà farsi riferimento alla Tab. 4.21.

Per la determinazione della quota del pelo libero e del relativo franco le Linee Guida indicano di incrementare di 20 cm la minore tra le quote dei due argini.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.1bis

Si ricorda che, nei casi in cui l'intradosso del ponte non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico può essere calcolato rispetto all'altezza della corda di ampiezza pari a $\frac{2}{3}$ della luce.



ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.2

Corsi d'acqua non arginati (Figura C.3)

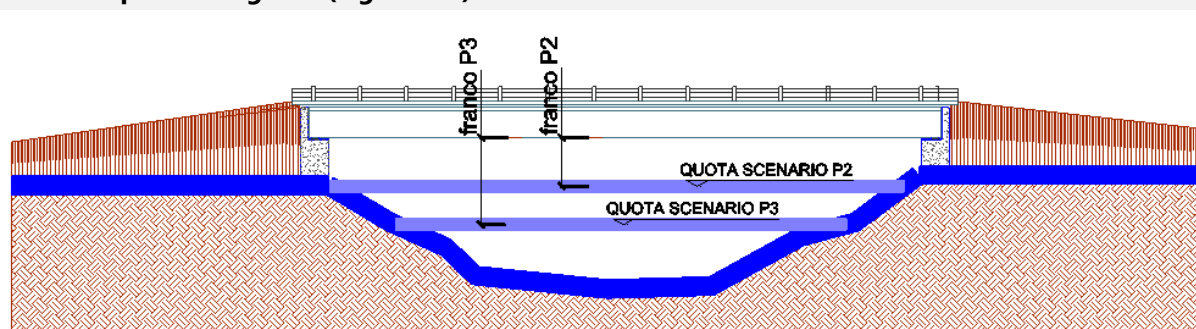


Figura C.3 – Corso d'acqua non arginato: determinazione della quota del pelo libero e del franco idraulico.

Le Linee Guida indicano di inserire quale quota relativa allo scenario P2 e/o P3 la quota massima della fascia di terreno interessata dal relativo scenario. Il profilo della fascia di terreno, interessato dall'evento alluvionale, può essere ricavato da Cartografia Tecnica Regionale o da modelli digitali del terreno DTM (Digital Terrain Model), ove disponibili.

Entrambi questi sistemi hanno dei limiti derivanti dalla precisione cartografica e dalla precisione del rilievo e della grandezza della maglia di rilievo.

Pertanto, è sufficiente una minima differenza, dell'ordine di 20-30 cm nella valutazione della quota massima del terreno interna alla fascia perimetrata, per passare da una classe di pericolosità all'altra.

La metodologia descritta nelle Linee Guida potrebbe perciò comportare facilmente rilevanti errori in eccesso o in difetto nella determinazione del franco idraulico.

Pertanto, laddove sia possibile reperire le quote del pelo libero relative allo scenario P2 e/o P3 dai PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni) o dai PAI (Piani Assetto Idrogeologico) o da altri studi approvati, è preferibile riferirsi direttamente a questi dati.

Se, invece, non esistono specifiche modellazioni del corso d'acqua o non sono reperibili i risultati di queste ultime o anche qualora la perimetrazione sia stata effettuata dall'Autorità di Distretto competente basandosi su criteri morfologici si potrà seguire la metodologia indicata nelle Linee Guida.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.2bis

Si ricorda che, nel caso di corsi d'acqua arginati, ove esista una modellazione idraulica del corso d'acqua che indichi i livelli del pelo libero in corrispondenza del ponte per il calcolo del franco idraulico, è possibile riferirsi a tali livelli. Ove siano noti i livelli del pelo libero sia per lo scenario P2 che per lo scenario P3, anche nel caso di corsi d'acqua arginati, la pericolosità per sormonto può essere definita secondo la Tab. 4.20 delle Linee Guida.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.3

Corsi d'acqua non arginati in assenza di perimetrazione delle fasce P2 e/o P3

È possibile che, soprattutto nel caso di corsi d'acqua secondari, per alcuni tratti, non esista perimetrazione delle fasce per gli scenari di alluvione P2 nei PAI o nei PGRA per assenza di studi.

In questi casi si può ricorrere ad una valutazione speditiva del franco con metodologie diverse, a seconda della morfologia dell'alveo.

Corsi d'acqua con possibilità di espansione laterale (Figura C.4)

La quota del pelo libero ed il relativo franco si possono determinare incrementando di 50 cm la maggiore tra le quote delle due sponde.

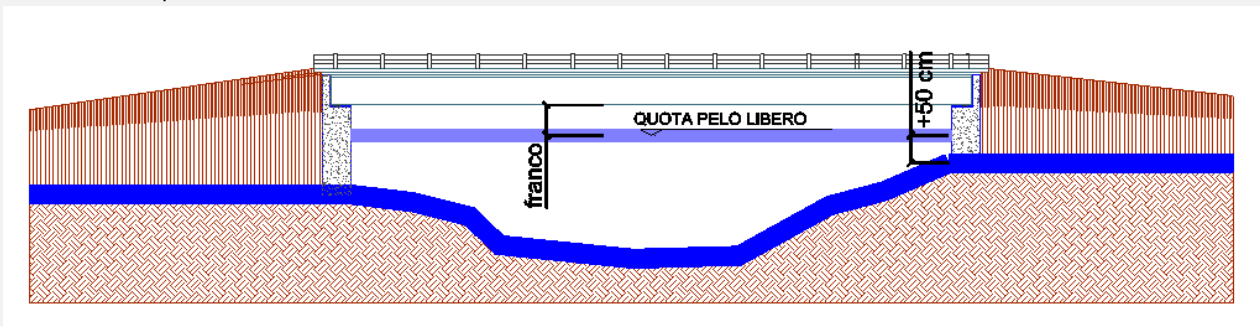


Figura C.4 – Determinazione della quota del pelo libero e del franco per i corsi d'acqua non arginati con possibilità di espansione

Corsi d'acqua senza possibilità di espansione laterale e con impalcato molto alto rispetto alla quota di fondo alveo (Figura C.5)

La quota del pelo libero ed il relativo franco si possono determinare incrementando di 15 metri la quota di fondo.

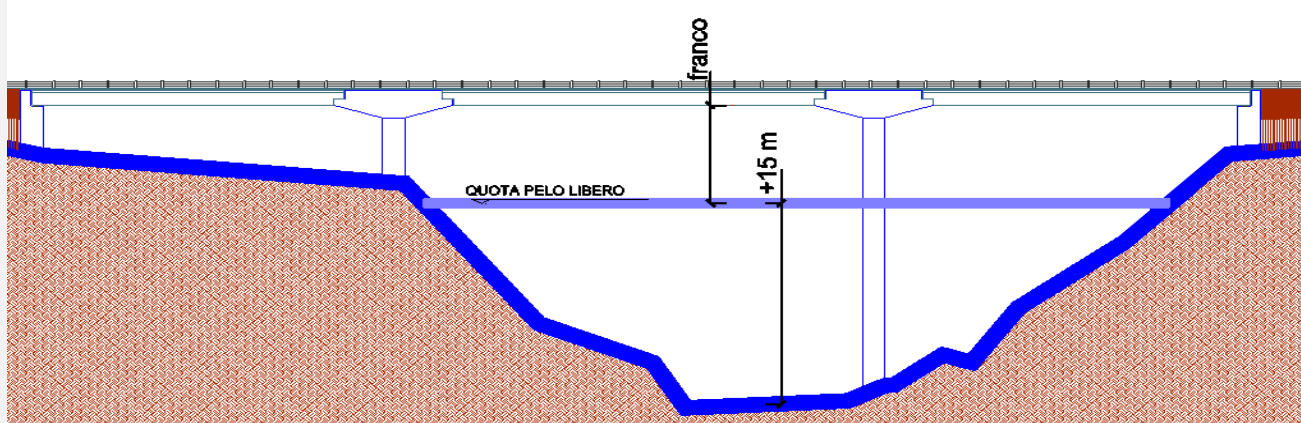


Figura C.5– Determinazione della quota del pelo libero e del franco per i corsi d'acqua non arginati senza possibilità di espansione ed impalcato molto alto rispetto al fondo alveo

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.4

Proseguo di: **Corsi d'acqua non arginati in assenza di perimetrazione delle fasce P2 e/o P3**

Corsi d'acqua senza possibilità di espansione laterale con impalcato potenzialmente interferente con la piena (Figura C.6)

La quota del livello del pelo libero può essere ricavata dall'altezza di moto uniforme della corrente relativa al deflusso della portata di piena almeno centennale calcolata mediante formule derivanti dalla pianificazione di bacino o, in mancanza di studi specifici, mediante formule empiriche e semiempiriche di letteratura. Fra queste si citano a titolo esemplificativo quelle di Forti e di Gherardelli-Marchetti, che consentono la determinazione della portata in funzione di un unico parametro (la superficie del bacino imbrifero) risultando quindi di agevole applicazione e, seppur di vecchia concezione, comunque accettabili considerato il livello preliminare di analisi, la dimensione dei manufatti e le incertezze connesse alla determinazione della topografia dell'alveo e della stessa geometria del corso d'acqua.

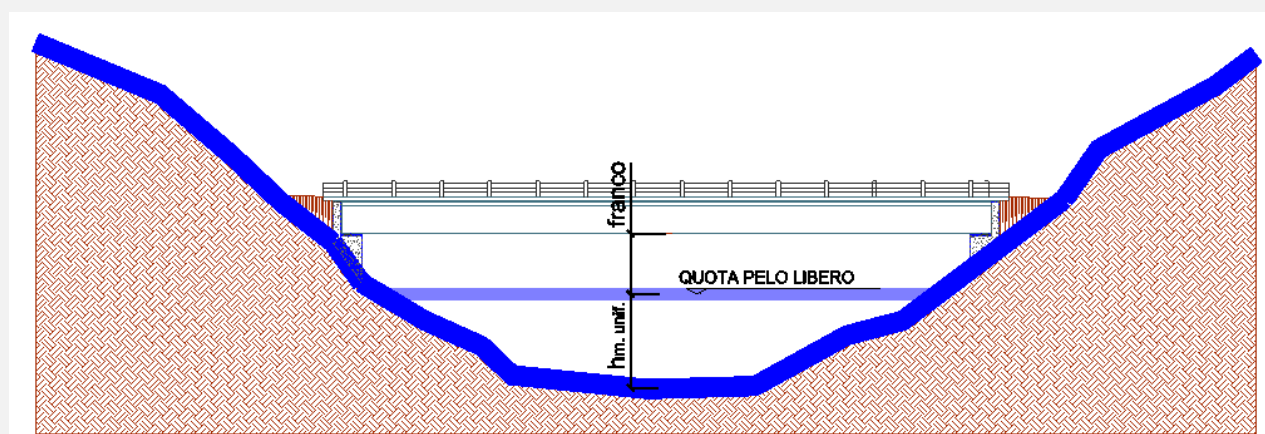


Figura C.6 – Determinazione della quota del pelo libero e del franco per i corsi d'acqua non arginati senza possibilità di espansione e impalcato potenzialmente interferente con la piena

Tabella 4.20 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d'acqua principali non arginati)

Alta	$F_{P2} \leq 0.80 \text{ m}$ e $F_{P3} \leq 1.50 \text{ m}$
Medio-Alta	$F_{P2} \leq 0.80 \text{ m}$ e $F_{P3} > 1.50 \text{ m}$
Media	$0.80 \text{ m} < F_{P2} \leq 1.00 \text{ m}$
Medio-Bassa	$1.00 \text{ m} < F_{P2} < 1.50 \text{ m}$
Bassa	$F_{P2} \geq 1.50 \text{ m}$

Tabella 4.21 - Classi di pericolosità per il fenomeno di sormonto (corsi d'acqua secondari non arginati)

Alta	$F < 0.80 \text{ m}$
Medio-Alta	$0.80 \text{ m} \leq F < 1.00 \text{ m}$
Media	$1.00 \text{ m} \leq F < 1.20 \text{ m}$
Medio-Bassa	$1.20 \text{ m} \leq F < 1.50 \text{ m}$
Bassa	$F \geq 1.50 \text{ m}$

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.5

In riferimento alla determinazione della classe di pericolosità per fenomeni di sormonto, per i corsi d'acqua arginati, in cui sarà definito il solo franco F, poiché le Linee Guida riportano solo le Tabella 4.20 e Tabella 4.21 riferite a corsi d'acqua NON arginati principali e secondari, si potrà fare riferimento alla Tabella 4.21.

Si definiscono "principali" i corsi d'acqua che denominano i bacini principali così come indicati nel Geoportale Nazionale. La tab. 4.20 si applica in ogni caso a tutti i corsi d'acqua non arginati in cui siano definite nei PGRA o nei PAI le fasce di alluvione per gli scenari P3 e P2.

Nel caso in cui per il corso d'acqua principale non arginato non sia definibile FP3 ma sia definibile solo FP2 si potrà parimenti fare riferimento alla Tabella 4.21. Nei casi in cui esista, nell'intorno del ponte, una mappatura delle fasce di alluvione P3 e P2, ma ci siano elementi che facciano ritenere poco attendibile il valore del livello idrico relativo allo scenario P3 determinato secondo le indicazioni delle Linee Guida si potrà applicare comunque la Tab. 4.21 senza tener conto del livello idrico relativo allo scenario P3.

Con riferimento ai **fenomeni di erosione**, la stima degli effetti (profondità massima raggiungibile dallo scavo) è resa complessa dalla natura ciclica del fenomeno, sia esso generalizzato sia localizzato, e pertanto di difficile valutazione con osservazioni dirette.

Il fenomeno dell'erosione alla base delle pile dei ponti si può ritenere costituito dalla sovrapposizione di tre processi, che vengono solitamente stimati indipendentemente per poi sommarne gli effetti: (a) l'abbassamento (o l'innalzamento) dell'alveo in prossimità del ponte, per variazioni globali del profilo del corso d'acqua, sostanzialmente indipendenti dalla presenza del ponte medesimo (*general scour*); (b) l'erosione generalizzata in corrispondenza della sezione ristretta del ponte, causata dall'aumento locale della velocità della corrente, indotto dal restringimento dovuto alla presenza dell'attraversamento (*contraction scour*); (c) l'erosione localizzata alla base delle pile e delle spalle del ponte, causata dalle deviazioni del flusso idrico indotte dalla presenza delle strutture in alveo, che causano aumenti locali della velocità della corrente (*local scour*).

L'eventuale tendenza dell'alveo ad abbassamenti globali nel tratto di corso d'acqua in cui il manufatto è inserito è considerata come un fattore di vulnerabilità, che si associa alla pericolosità per erosione generalizzata o alla pericolosità per erosione localizzata. Queste ultime sono stimate separatamente e permettono di definire due classi di attenzione distinte, una relativa all'erosione generalizzata, l'altra all'erosione localizzata, salvo poi combinarle al fine di ricavare una classe di attenzione complessiva relativa al rischio di crisi idraulica per fenomeni di erosione d'alveo.

L'**erosione generalizzata** in prossimità del ponte è dovuta alla riduzione, operata dall'attraversamento, della sezione trasversale indisturbata caratteristica dell'alveo tale da ingenerare un'accelerazione locale della corrente.

In prima approssimazione, secondo formulazioni empiriche di letteratura di frequente utilizzo, si può ritenere che l'erosione da contrazione dipenda dal rapporto tra la larghezza dell'alveo in assenza del manufatto di attraversamento e la larghezza dell'alveo lasciata libera dall'attraversamento medesimo. Nel presente approccio speditivo, ai fini della stima della suscettibilità si definiscono:

$$C_a = \frac{W_{a,l}}{W_a} \cdot 100 \quad C_g = \frac{W_{g,l}}{W_g} \cdot 100$$

dove

C_a è il fattore di restringimento dell'alveo inciso, essendo $W_{a,l}$ la larghezza complessiva dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle e W_a la larghezza complessiva dell'alveo inciso a monte del ponte; C_g è il fattore restringimento delle aree golenali, essendo $W_{g,l}$ la larghezza complessiva delle golene occupate dai rilevati di accesso, dalle spalle e dalle pile e W_g la larghezza complessiva delle golene a monte del ponte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.6

Corsi d'acqua in presenza di area golenale (Figura C.7)

Si riporta uno schema esemplificativo per l'individuazione delle grandezze necessarie per il calcolo dei fattori di contrazione d'alveo e golenale.

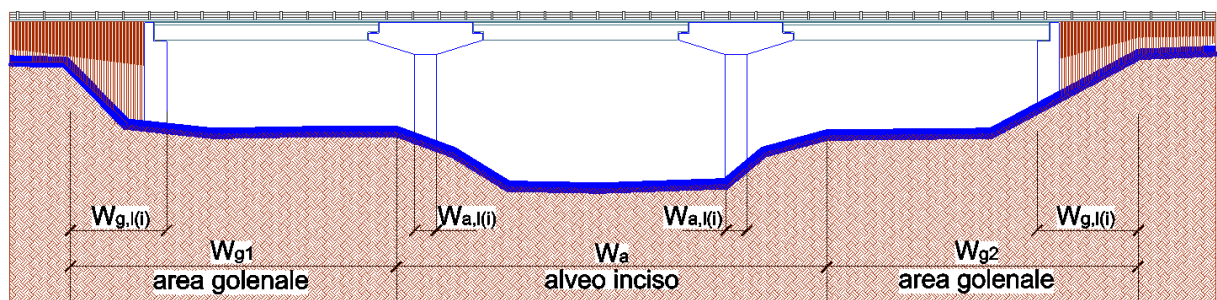


Figura C.7 – Corso d'acqua in presenza di golene.

L'ampiezza dell'area golenale W_g è data dalla somma delle ampiezze della golenale in sinistra idraulica W_{g1} e della golenale in destra idraulica W_{g2} : $W_g = W_{g1} + W_{g2}$.

$W_{a,l}$ è la larghezza complessiva dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle e corrisponde alla sommatoria dei $W_{a,l(i)}$ di Figura $W_{a,l} = \sum W_{a,l(i)}$.

$W_{g,l}$ è la larghezza complessiva dell'area golenale occupata dall'ingombro di pile, spalle e rilevati di accesso e corrisponde alla sommatoria dei $W_{g,l(i)}$ di Figura $W_{g,l} = \sum W_{g,l(i)}$.

Corsi d'acqua in assenza di area golenale (Figura C.8)

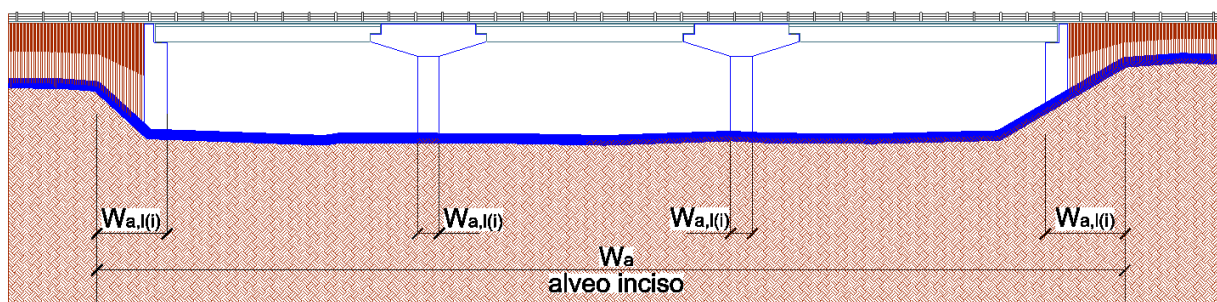


Figura C.8 – Corso d'acqua in assenza di golene.

$W_{a,l}$ è la larghezza complessiva dell'alveo inciso occupata dall'ingombro di pile e spalle e corrisponde alla sommatoria dei $W_{a,l(i)}$ di Figura : $W_{a,l} = \sum W_{a,l(i)}$.

Nei corsi d'acqua in cui l'area golenale è assente la formula di calcolo per il coefficiente di contrazione golenale C_g , riportata nelle Linee Guida, conduce ad un risultato indeterminato; rimane però possibile la valutazione del fattore di contrazione d'alveo C_a .

Quando si verifichi questa condizione, per la determinazione della classe di pericolosità per erosione generalizzata, si potrà comunque utilizzare la Tabella 4.22 delle Linee Guida tenendo conto della sola variazione del C_a con riferimento all'ultima colonna corrispondente a C_g inferiore al 15%.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.6bis

In assenza di specifiche indicazioni e quale utile riferimento, nei corsi d'acqua arginati, per fascia golenale è da intendersi la fascia compresa tra il ciglio interno della corona dell'argine e il ciglio di sponda dell'alveo inciso, mentre, nei corsi d'acqua non arginati, è possibile considerare le fasce di esondazione P2 al netto dell'alveo inciso, ove presenti nei PGRA o nei PAI, come equivalenti alle fasce golenali ai fini della valutazione del coefficiente di contrazione C_g .

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.7

Corsi d'acqua incassato tra versanti (Figura C.9)

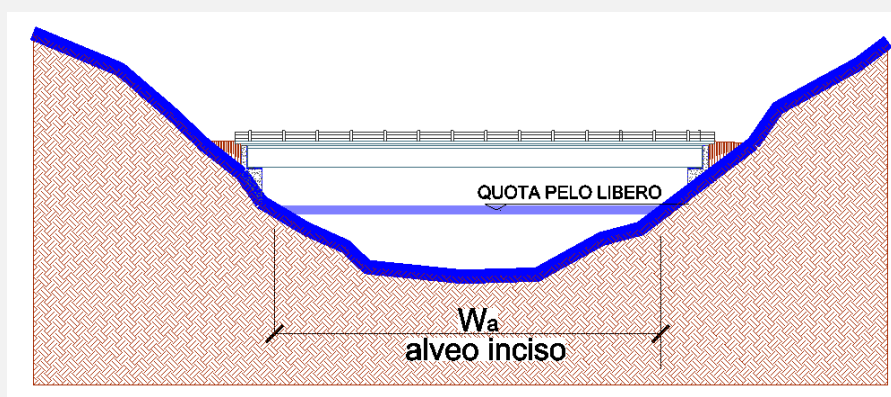


Figura C.9 - Corso d'acqua incassato: Individuazione ampiezza alveo inciso.

Nei corsi d'acqua che scorrono incassati tra versanti si suggerisce di individuare l'alveo inciso nell'ampiezza della fascia interessata dal deflusso della piena con tirante idraulico coincidente con l'altezza del pelo libero precedentemente determinata per la valutazione del franco idraulico.

Le classi di pericolosità vengono individuate in accordo alla Tabella 4.22.

Tabella 4.22 – Classe di pericolosità relativa al fenomeno di erosione generalizzata

C _a	C _g				
	> 45 %	35-45 %	25-35 %	15-25 %	<15 %
>35 %	Alta				
25-35 %	Alta		Medio-alta		
15-25 %	Alta		Medio-alta	Media	
10-15 %	Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	
<10%	Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	Bassa

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.7bis

Per uniformità, nelle valutazioni della pericolosità per erosione generalizzata, si precisa che gli intervalli della Tabella 4.22 debbono intendersi semiaperti al limite inferiore della classe.

L'**erosione localizzata** alla base delle pile o delle spalle è una delle cause più frequenti di crollo o di danneggiamento dei manufatti di attraversamento fluviale. La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è la formazione di vortici alla loro base.

I principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità e la profondità della corrente, la larghezza della pila e la sua forma, la lunghezza della pila e l'angolo d'attacco della corrente, la natura del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati dalla corrente. Occorre inoltre considerare con attenzione i fenomeni di evoluzione morfologica del letto del fiume.

L'altezza di scavo raggiungibile in condizioni di assenza di trasporto solido (*clear-water scour*) è superiore alla corrispondente in presenza di trasporto (*live bed scour*). Per questo motivo, il trasferimento alle pratiche applicazioni di numerose formule di letteratura è da valutare con attenzione.

Per la valutazione della pericolosità da erosione localizzata, si suggerisce in prima approssimazione la stima della massima profondità di scavo d_s . Valutato d_s , è possibile definire un indice adimensionale IEL dato dal rapporto tra d_s e la profondità di posa del piano di fondazione d_f rispetto all'alveo:

$$IEL = \frac{d_s}{d_f}$$

La valutazione di IEL non è semplice, essendo complesso valutare sia d_s che d_f . La valutazione di quest'ultima può essere fatta sulla base della documentazione di progetto dell'opera, se disponibile, o di indicazioni specifiche derivanti da evidenze di campo; nel caso molto frequente di mancanza di entrambi, si può assumere in prima approssimazione una profondità di riferimento d_f pari 2.00 m, risultante dai valori medi normalmente adottati nella pratica costruttiva per fondazioni superficiali.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.8

Definizione della profondità di posa del piano di fondazione (d_f)

Nel caso di fondazioni superficiali la profondità del piano di posa di fondazione è definita dalla profondità della superficie di appoggio della fondazione rispetto al piano di campagna.

Nel caso di fondazioni profonde (pali e pozzi) la profondità del piano di posa di fondazione è pari a 1/2 della lunghezza del palo o della profondità del pozzo. Nel caso in cui non sia possibile conoscere tale dato si può assumere quale profondità del palo o del pozzo il valore minimo di 8 m che comporta una profondità del piano di posa di fondazione pari a 4 m.

Per la valutazione di d_s non si ritiene utile raccomandare rilievi della sezione fluviale in prossimità della pila; ciò sia per le ovvie difficoltà di esecuzione degli stessi quale mezzo speditivo di valutazione, dovendo peraltro operare su un parco opere molto ampio, sia per il fatto che lo scavo localizzato tende a riempirsi nella fase finale della piena e quindi le indicazioni che si otterrebbero dal rilievo spesso non risulterebbero adeguate allo scopo.

In base alle risultanze di letteratura, per una pila di forma circolare di diametro a , la massima profondità di scavo d_s in presenza di trasporto generalmente varia tra 1.4 a e 2.3 a , si suggerisce di assumere prudenzialmente:

$$d_s = 2a$$

Per la valutazione dell'erosione localizzata in corrispondenza delle spalle dei ponti, a si assume pari al doppio dell'aggetto della spalla.

La medesima formula si applica anche per forme di pile non circolari, assumendo per a la larghezza della pila. Per pile non circolari, nel caso in cui la direzione del filone principale della corrente sia obliqua rispetto all'asse longitudinale della pila (angolo di attacco diverso da zero), si assume per a la larghezza della proiezione della pila sul piano trasversale alla direzione della corrente.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.9

Nel caso in cui non sia possibile stabilire con sufficiente affidabilità se la fondazione sia di tipo profondo si suggerisce di assumere cautelativamente che la fondazione sia di tipo superficiale, con profondità di riferimento almeno pari a 2.00 m.

Ancorché non sia possibile stimare con precisione la profondità del piano di posa di fondazione, ma le evidenze di campo suggeriscano che sia molto ridotta, sarà necessaria una stima seppur approssimata del suo valore.

Nei casi in cui la fondazione della struttura sia impostata su roccia compatta la formula per il calcolo della profondità di scavo sopra riportata può condurre ad una sovrastima di questa grandezza; si suggerisce di limitare il valore di d_s alla profondità del tetto dello strato di roccia compatta.

La grandezza " a " è fissata pari alla misura dell'impronta sul fondo dell'alveo della pila o del doppio dell'impronta sul fondo dell'alveo della spalla.

In funzione del valore assunto dall'indice di erosione localizzata IEL si definiscono le classi di pericolosità in *Tabella 4.23*.

Tabella 4.23 – Classe di pericolosità per il fenomeno di erosione localizzata

Alta	$IEL > 1.2$
Medio-Alta	$1.00 < IEL \leq 1.20$
Media	$0.80 < IEL \leq 1.00$
Medio-Bassa	$0.80 < IEL \leq 0.60$
Bassa	$IEL < 0.60$

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.1.10

L'intervallo in cui è compreso IEL, nel caso di pericolosità per erosione localizzata, deve intendersi come intervallo semiaperto al limite inferiore.

4.5.2 STIMA DELLA VULNERABILITÀ LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO

Ai fini della individuazione della vulnerabilità che, unitamente all'esposizione, porta alla definizione del rischio, risulta indispensabile valutare – per gli scenari di suscettibilità prima individuati – i seguenti parametri: il valore della portata della piena; l'estensione dell'area interessata dall'inondazione; l'altezza e la relativa quota idrica nonché le caratteristiche cinematiche della corrente.

La vulnerabilità dei ponti, con specifico riferimento al fenomeno di crisi per sormonto o insufficienza di franco, può sintetizzarsi come nella Tabella 4.24.

Tabella 4.24 - Classi di vulnerabilità per il fenomeno di sormonto

Alta	<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo. - Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. - Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$
Medio-Alta	<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di accentuati fenomeni di deposizione di sedimenti, soprattutto se grossolani, o di fenomeni d'erosione d'alveo. - Evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. - Dimensioni del bacino idrografico $S < 100 \text{ km}^2$
Media	<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di significativi fenomeni di deposizione di sedimenti o di d'erosione d'alveo. - Evidenza di significativo trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. - Dimensioni del bacino idrografico $S < 500 \text{ km}^2$
Medio-Bassa	<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Assenza di evidenza di significativi fenomeni di deposizione o di erosione d'alveo. - Assenza di evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione. - Dimensioni del bacino idrografico $S > 500 \text{ km}^2$
Bassa	<p>Assenza di evidenza di significativi fenomeni di deposizione o di erosione d'alveo.</p> <p>Assenza di evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione.</p> <p>Dimensioni del bacino idrografico $S > 500 \text{ km}^2$</p>

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.1

Per evidenza di materiale vegetale di notevole dimensione deve intendersi la presenza di materiale, anche potenziale, le cui dimensioni, in relazione alla distanza tra le pile e/o spalle del ponte, siano tali da far temere la possibilità di una importante ostruzione della sezione idraulica con conseguente riduzione della capacità di deflusso.

Qualora le dimensioni delle luci di deflusso siano molto maggiori di quelle del materiale vegetale presente in alveo la condizione "evidenza di significativo trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione" non deve essere considerata ai fini del fenomeno di sormonto.

In assenza di notizie di recenti eventi alluvionali che abbiano coinvolto il ponte in esame, nel caso in cui la struttura attraversi corsi d'acqua con bacino imbrifero inferiore a 100 km^2 , qualora si rilevi Bassa pericolosità per sormonto e franco idraulico pari ad almeno il doppio dell'altezza del pelo libero con un valore minimo di 3 m, l'ispettore può valutare se attribuire o meno significatività all'evidenza di trasporto di materiale vegetale di notevole dimensione.

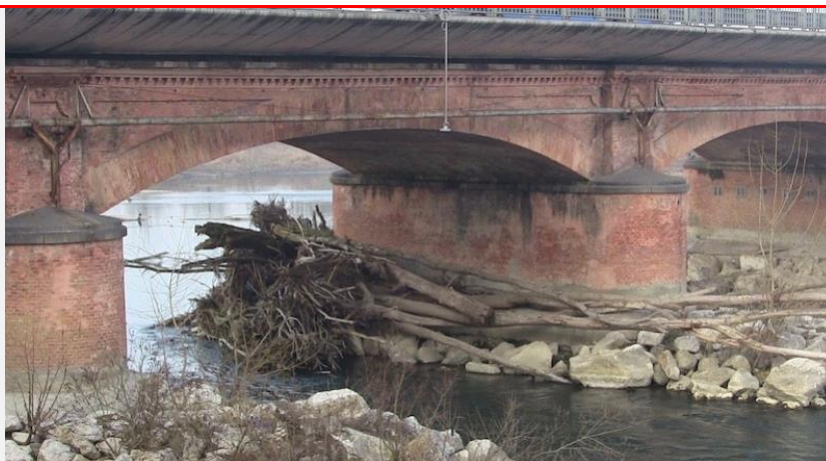


Figura C10 - Ponte con evidenza di significativo trasporto di materiale vegetale di "notevole dimensione".

Poiché le osservazioni possono portare ad una valutazione non univoca della classe di vulnerabilità si suggerisce di non tenere conto del temine "almeno" per il verificarsi delle condizioni elencate nella Tabella 4.24 con l'eccezione della classe

Alta; qualora non fosse sufficiente questo suggerimento a rendere univoca la classe di vulnerabilità si potrà considerare la più severa tra le classi attribuibili.

(Nota: la foto è stata tratta dal sito web di videonotiziety al seguente link <https://www.videonotiziety.it/cronaca/ancora-tronchi-sotto-le-arcate-del-ponte>)

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.1bis

Si ricorda che, ai fini dell'individuazione della vulnerabilità legata al sormonto, per "fenomeni di erosione d'alveo" debbono intendersi quei fenomeni di erosione rilevabili a monte del ponte che possono comportare apporto di materiale lapideo tale da produrre significative ostruzioni della sezione idraulica dell'attraversamento.

Con riferimento ai fenomeni di erosione generalizzata e localizzata, la classe di vulnerabilità è stimata secondo quanto riportato nella Tabella 4.25 e Tabella 4.26, rispettivamente.

Tabella 4.25 – Classe di vulnerabilità per il fenomeno di erosione generalizzata

Alta	Sussistenza di tutte e 3 le seguenti 3 condizioni: <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura.
Medio-Alta	Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni: <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura.
Media	Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 3 condizioni: <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura.
Medio-Bassa	Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 2 condizioni: <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura.
Bassa	Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. Insussistenza delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Ponte posizionato in tratto di alveo avente sensibile curvatura.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.2

Nel caso in cui non sia possibile stabilire con sufficiente affidabilità se la fondazione sia di tipo profondo si suggerisce di assumere cautelativamente che la fondazione sia di tipo superficiale.

Le fondazioni superficiali a struttura monolitica di calcestruzzo impostate su roccia compatta o debolmente frantumata, ai fini della vulnerabilità per erosione generalizzata, possono essere equiparate a fondazioni profonde.

Per le strutture con fondazioni profonde, in presenza di alcune delle condizioni elencate in tabella, può verificarsi il caso di un'attribuzione non univoca della classe di vulnerabilità per erosione generalizzata.

Tali strutture, indipendentemente dal verificarsi delle condizioni di cui alle classi Alta, Medio-Alta e Media, sono da ricomprendersi nelle classi Medio-Bassa e Bassa, salvo nel caso in cui il fenomeno di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e valle del ponte sia molto accentuato anche in relazione alla profondità della struttura di fondazione.

In questo caso la struttura può essere inserita in classe di vulnerabilità Medio-Alta se il corso d'acqua ha, nel tratto in esame, anche "sensibile curvatura", in classe Media se il corso d'acqua, nel tratto in esame, non presenta questa caratteristica.



Figura C.11 - Ponti con significativo abbassamento generalizzato dell'alveo.

(Nota: le foto sono state tratte dalla pubblicazione "La sicurezza idraulica degli attraversamenti fluviali" – Prof. Armando Brath)

Tabella 4.26 – Classe di vulnerabilità per il fenomeno di erosione localizzata

Alta	<p>Sussistenza di almeno 3 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. - Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica
Medio-Alta	<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. - Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica
Media	<p>Sussistenza di almeno 1 delle seguenti 4 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni superficiali delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di fenomeni di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e a valle del ponte. - Presenza di accumuli di detriti o materiale flottante a monte della pila. - Tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica
Medio-Bassa	<p>Sussistenza di almeno 2 delle seguenti 3 condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di presenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte. - Presenza di una briglia di protezione immediatamente a valle del ponte.
Bassa	<p>Sussistenza di entrambe le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte. - Evidenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.3

Nel caso in cui non sia possibile stabilire con sufficiente affidabilità se la fondazione sia di tipo profondo si suggerisce di assumere cautelativamente che la fondazione sia di tipo superficiale.

Le fondazioni superficiali a struttura monolitica di calcestruzzo impostate su roccia compatta o debolmente fratturata, ai fini della vulnerabilità per erosione localizzata, possono essere equiparate a fondazioni profonde.

Sia per le strutture con fondazioni superficiali in presenza di briglia di valle e di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte che per le strutture con fondazioni profonde, in presenza di alcune delle condizioni elencate in tabella, può verificarsi il caso di un'attribuzione non univoca della classe di vulnerabilità per erosione localizzata.

Inoltre, la classe Bassa e Medio-Bassa in alcuni casi sono sovrapponibili.

Per evitare ambiguità, le strutture con fondazioni superficiali in alveo, pur in presenza di briglia di valle e di protezione al piede delle pile e delle spalle possono essere inserite nelle classi Alta, Medio-Alta o Media a seconda che siano verificate le ulteriori condizioni elencate nelle rispettive classi.

Le strutture con fondazioni profonde, indipendentemente dal verificarsi delle condizioni di cui alle classi Alta, Medio-Alta e Media, sono da ricomprendersi nelle classi Medio-Bassa (anche in assenza di entrambe le altre due condizioni indicate nella relativa classe) e Bassa, salvo nel caso in cui il fenomeno di abbassamento generalizzato dell'alveo a monte e valle del ponte sia molto accentuato (*Figura C.11*, anche in relazione alla profondità della struttura di fondazione).

In questo ultimo caso la struttura può essere inserita in classe di vulnerabilità Alta, Medio-Alta o Media a seconda che siano verificate le ulteriori 2 condizioni presenti in queste classi e cioè "presenza di accumulo di detriti o di materiale flottante a monte della pila" e "tendenza dell'alveo alla divagazione planimetrica".

Per evitare la sovrapposizione tra le classi Bassa e Medio-Bassa nella Tabella 4.26, per "evidenza di protezione al piede delle pile e delle spalle del ponte", inserita nella classe Bassa, può intendersi l'insieme di opere di protezione in corrispondenza della fondazione quali massicciate o scogliere **con presenza contemporanea** di briglia o soglia di fondo immediatamente a valle della struttura.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.5.2.4

Si ricorda che, nel caso in cui l'ispettore ritenga che non ci sia "evidenza di presenza di fondazioni profonde delle pile e delle spalle del ponte", nella tabella di vulnerabilità per fenomeni erosivi (sia di tipo generalizzato che localizzato) si suggerisce di inserire la condizione di "evidenza di presenza di **fondazioni superficiali** delle pile e delle spalle del ponte".

4.5.3 STIMA DELL'ESPOSIZIONE LEGATA AL RISCHIO IDRAULICO

La stima dell'esposizione al rischio idraulico porta alla valutazione delle potenziali conseguenze negative di future alluvioni – oltre che per la struttura interessata – anche quali conseguenze indotte (inondazione) per la salute umana e per il territorio, tenendo conto di elementi quali la topografia, la localizzazione dei corpi idrici superficiali e le loro caratteristiche idrologiche e geomorfologiche generali, le aree di espansione naturale delle piene, la strategicità del ponte in situazioni emergenziali nonché la localizzazione delle aree popolate.

In definitiva, la classe di esposizione idraulica può determinarsi in analogia allo schema di *Figura 4.6*, relativo alla classificazione sismica.

4.5.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE RISCHIO IDRAULICO

Note le classi di pericolosità/suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione legate al rischio idraulico del ponte (e delle zone contigue laddove interessate da inondazione), si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) idraulica. La difficoltà di quantificazione dei parametri e la frequente indisponibilità di dati attendibili di sufficiente dettaglio che concorrono alla definizione dei livelli di rischio (soprattutto in riferimento all'analisi della pericolosità) rende opportuno adottare criteri metodologici semplificati per una valutazione e rappresentazione del rischio.

Volendo stimare le Classe di Attenzione del rischio idraulico riferita ai fenomeni di sormonto o insufficienza di franco idraulico e ai fenomeni erosivi, generalizzati o localizzati, si può far riferimento a combinazioni dei fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione ad essi relativi, analoghe a quelle impiegate per la determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica, ossia analoghe a quelle riportate in *Tabella 4.10*.

Note le classi di attenzione del ponte, distinte per fenomeni di erosione generalizzata e per fenomeni di erosione localizzata, si determina la classe di attenzione in relazione ai fenomeni erosivi dalla combinazione delle due, come in *Tabella 4.27*.

Tabella 4.27 – Classe di attenzione idraulica del ponte in relazione ai fenomeni erosivi

		Classe di attenzione per erosione generalizzata				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione per erosione localizzata	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Alta			Medio-alta	
	Media	Alta		Medio-Alta	Media	
	Medio-Bassa	Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	
	Bassa	Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa

In definitiva, la Classe di Attenzione complessiva legata al rischio idraulico del ponte è la più elevata tra quelle risultanti dall'analisi separata dei due meccanismi di crisi (per sormonto e per fenomeni erosivi).

4.6 ANALISI MULTI-RISCHIO E DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE COMPLESSIVA

Alle valutazioni separate della CdA strutturale e fondazionale, CdA sismica, CdA legata al rischio idraulico e CdA legata al rischio frane deve conseguire la valutazione di un parametro unitario che permetta di pervenire ad un indice sintetico. Quest'ultimo parametro indica la Classe di Attenzione complessiva del ponte ed è il risultato della combinazione delle CdA associate alle quattro tipologie di rischio, condotta, ancora una volta, secondo un approccio per classi e operatori logici. La CdA complessiva è classificata, in analogia a quanto visto per le singole CdA, in bassa, medio-bassa, media, medio-alta e alta. Sulla base di tale classificazione, si stabiliscono le azioni da intraprendere in termini di indagini/controlli/verifiche, secondo lo schema proposto in Figura 1.1.

Nella definizione delle possibili combinazioni, un peso maggiore è dato alla CdA strutturale e fondazionale in quanto legata alle usuali condizioni di esercizio delle strutture. Ciò comporta che se essa è alta, la CdA complessiva è alta qualsiasi siano le CdA sismica e idraulica e frane. I risultati, in termini di CdA complessiva, di tutte le possibili combinazioni sono ricavabili dalla Tabella 4.28. Per semplicità di esposizione, in Tabella 4.28 la classe di attenzione legata al rischio idraulico e la classe di attenzione legata al rischio frane sono accorpati in un unico indicatore "Classe di attenzione idraulica e frane" determinato sempre utilizzando l'approccio per classi e operatori logici finora impiegato, come in Tabella 4.29.

Tabella 4.28. – Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione complessiva

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Alta				
	Medio-Alta	Alta				
	Media	Alta				
	Medio-Bassa	Alta				
	Bassa	Alta				

Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIO – ALTA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Alta		Medio-Alta		
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta			Media
	Media	Medio-Alta			Media	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Media		
	Bassa	Medio-Alta	Media			

Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Alta	Medio-Alta		Media	
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		

	Media	Medio-Alta	Media
	Medio-Bassa	Media	Medio-Bassa
	Bassa	Media	Medio-Bassa

Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIO-BASSA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Medio-Alta	Media			
	Medio-Alta	Media				Medio-Bassa
	Media	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		
	Bassa	Media	Medio-Bassa			

Classe di attenzione strutturale/fondazionale **BASSA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Alta	Media		Medio-Bassa		
	Media	Media	Medio-Bassa			
	Medio-Bassa	Medio-Bassa				Bassa
	Bassa	Medio-Bassa	Bassa			

Tabella 4.29. – Combinazioni delle CdA per la determinazione della classe di attenzione idraulica e frane

		Classe di attenzione frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione idraulica	Alta	Alta	Medio-Alta			Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta	Media		
	Media	Medio-Alta	Media		Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		
	Bassa	Media	Medio-Bassa		Bassa	

Nota la CdA complessiva, si raccomanda, sì di basare le indagini, i controlli e le verifiche, previsti dai livelli successivi dell'approccio multilivello, sulla classe di attenzione complessiva, ma di tenere sempre conto delle classi di attenzione risultanti dalle valutazioni separate delle diverse tipologie di rischio, in modo da indirizzare e approfondire tali indagini, controlli e verifiche dove e come necessario. Questi devono servire alla valutazione accurata degli aspetti legati specialmente alle più gravose classi di attenzione ottenute, oltre che alla valutazione del comportamento globale dell'opera. Ciò implica che le banche dati istituzionali (es. AINOP) devono archiviare e rendere fruibili sia la CdA complessiva sia le singole CdA componenti.

ISTRUZIONE OPERATIVA 4.6.1

Il gestore deve chiaramente analizzare criticamente la genesi della valutazione della classe di attenzione, sia sulla base del risultato ottenuto per il singolo rischio, statico-fondazionale, sismico, idraulico, frane, sia sulla base delle criticità che hanno portato alle singole valutazioni, classe di pericolosità, classe di vulnerabilità, classe di esposizione, pianificando le operazioni conseguenti, previste dalle Linee Guida, proprio sulla base dell'analisi di tali criticità.

Sulla base di queste considerazioni, si procede con le operazioni di valutazione della sicurezza, sorveglianza e monitoraggio, nonché alla conseguente programmazione degli interventi atti a ripristinare la piena funzionalità dell'opera. Tali operazioni non sono esclusive o alternative, ma possono e devono condursi anche in contemporanea: ad esempio, per una struttura caratterizzata da una CdA alta, per la quale è prevista una verifica di sicurezza, nelle more di eseguire tali verifiche, è possibile introdurre, prevedere e pianificare un sistema di monitoraggio che controlli lo stato di avanzamento della fonte di danneggiamento e/o la gravità dello stato di conservazione della struttura. In qualsiasi caso, tutte le possibili operazioni che susseguono alla determinazione della CdA e della sua natura, possono essere pianificate, stabilendo un ordine di priorità delle stesse sulla base:

- della CdA ottenuta e della sua genesi, ovvero sulle criticità riscontrate;
- della possibilità di poter monitorare, controllare e gestire l'evoluzione dei fenomeni che inducono i danneggiamenti progressivi della struttura o dei fenomeni di degrado che caratterizza la struttura stessa;
- dell'importanza e della strategicità della struttura come parte della rete nella quale è localizzata.

I risultati dell'applicazione del Livello 0, del Livello 1, e del Livello 2 per ciascuna opera analizzata, e tutte le considerazioni in merito alle varie fasi, sono riportate in un unico documento, dove si devono riportare almeno:

- le informazioni raccolte durante il Livello 0, con particolare riferimento a quelle minime necessarie per la valutazione della Classe di Attenzione;
- una descrizione dello stato di conservazione dell'opera, come riscontrato durante l'ispezione (Livello 1), e le altre considerazioni fatte, sempre durante l'ispezione, in merito al rischio frane e idraulico;
- i dati rilevanti ed i parametri per la valutazione della CdA, con definizione della stessa per ogni rischio e complessiva, da corredarsi con un'analisi critica in merito alla sua genesi.

Tale documento deve altresì includere:

1. la contestualizzazione dell'opera (inserimento di dati minimi di anagrafica, caratteristiche essenziali di geometria, tipologia strutturale, inquadramento territoriale, sia per gli aspetti idraulici che geologici/geotecnici);
2. i risultati della ricerca delle informazioni minime del livello 0 (individuati nell'istruzione operativa al § 1.5);
3. la descrizione dell'ispezione eseguita e dello stato di conservazione dell'opera;
4. la determinazione della CdA strutturale fondazionale, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
5. la determinazione della CdA sismica, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
6. la determinazione della CdA idraulica, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
7. la determinazione della CdA frane, con definizione di tutti i parametri rilevanti;
8. la definizione della CdA complessiva, con commento al giudizio ottenuto.

Al suddetto documento sono allegate tutte le schede compilate in fase di ispezione, ed elencare tutta la documentazione raccolta durante la fase di Livello 0.

5. LIVELLO 3: VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA

Le valutazioni preliminari di Livello 3 mirano a valutare la qualità e la tipologia dei difetti rilevati al Livello 1 (o dalle ispezioni periodiche) ed a stimare, preliminarmente, le risorse dell'opera in funzione, prioritariamente, delle norme di progetto dell'opera. In primo luogo, infatti, se pur non siano stati rilevati, ad un primo esame visivo, difetti o fenomeni di degrado tali da giustificare immediate verifiche di sicurezza (CdA Alta), è necessario, nel caso di CdA Medio-Alta, analizzare con maggior dettaglio tali problematiche osservate nelle ispezioni eseguite al Livello 1 individuandone le possibili cause. In secondo luogo, inoltre, occorre valutare, se pur in una analisi preliminare sicuramente approssimata, le risorse garantite dalle norme utilizzate all'epoca della progettazione dell'opera rispetto alle normative attualmente vigenti. Assumendo, salvo evidenti indicazioni contrarie che evidenzino macroscopici errori progettuali, che il progetto del ponte sia stato redatto in conformità alle indicazioni normative vigenti all'epoca della sua realizzazione e ottimizzato per far fronte ai corrispondenti carichi da traffico, ciò può essere eseguito valutando il rapporto tra la domanda indotta sui vari elementi che compongono il ponte (solette, traversi, travi e/o strutture principali, pile, spalle, apparecchi di vincolo e fondazioni) dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca (intesa quindi in questa valutazione come minima capacità garantita dalla norma di progettazione originaria) e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti.

Tale analisi consente di stimare, se pur preliminarmente, le risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti. Essi, infatti, almeno fino al 1980, rispecchiavano, nei pesi e nella geometria, i mezzi di trasporto effettivamente transitanti ed erano diversificati nel caso in cui sul ponte era previsto transito di mezzi militari (ponte di 1° categoria) o transito di soli mezzi civili (ponte di 2° categoria). In termini generali, mentre gli effetti indotti dai carichi associati ai mezzi militari di progetto sono tuttora paragonabili, se non talvolta superiori, agli schemi di traffico previsti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, quelli indotti dai carichi con cui erano progettati i ponti di 2° categoria sono oggi spesso inferiori.

Come già riportato al § 1.3, il gestore deve quindi valutare, caso per caso, la necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4, sulla base della tipologia e qualità dei difetti riscontrati mediante le diverse tipologie di ispezione livelli previsti (valutando se, ad esempio, essi possano essere stati causati proprio dai carichi verticali da traffico) e delle analisi preliminari. Le informazioni aggiuntive ricavabili dai sistemi di monitoraggio, descritti al § 7.6, ove previsti, possono essere di ausilio alle valutazioni preliminari di Livello 3.

Esempio applicativo

Nel seguito si presenta un caso esemplificativo di applicazione di valutazioni preliminari di Livello 3, mostrando il procedimento generale per il calcolo del rapporto di sicurezza approssimato, inteso come rapporto tra la domanda indotta dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti.

Si faccia riferimento ad un ponte stradale ad unica campata di luce circa 20 m, la cui costruzione risale agli anni '40, progettato dunque secondo la Normale n. 8 del 14.09.1933. L'impalcato è costituito da tre travi parallele in calcestruzzo armato ordinario, semplicemente appoggiate alle estremità e collegate da traversi e soletta in c.a., tali da rendere l'impalcato torsio-rigido.

In generale, la Normale n. 8, primo riferimento normativo italiano in materia di progettazione di ponti stradali, forniva schemi di carico che riproducevano i reali mezzi transitanti sulle strade, differenziati per tre categorie stradali, in funzione dell'entità del traffico atteso (1° categoria – strade di grande traffico, 2° categoria – strade di medio traffico, 3° categoria – strade di piccolo traffico). Nel seguito, si ricordano gli schemi di carico previsti per le tre categorie stradali.

Per strade di tipo 1°

- 1.1. Due treni tipo (schema 1°, *Figura 5.1*) indefiniti di autocarri del peso totale di 12 tonnellate affiancati e, contemporaneamente, folla compatta 400 kg/m² sui marciapiedi;
- 1.2. Un treno tipo (schema 1°, *Figura 5.1*) indefinito di autocarri del peso di 12 tonnellate e un treno tipo (schema 2°) con veicoli di peso massimo 40 tonnellate affiancati e contemporaneamente folla compatta 400 kg/m² sui marciapiedi;
- 1.3. Folla compatta 400 kg/m² su tutta la larghezza del ponte.

Per il calcolo delle solette e delle nervature secondarie deve essere considerato il passaggio di un rullo compressore da 18 t (schema 3°) qualora le sollecitazioni che ne derivano siano più gravose di quelle prodotte dai carichi precedenti.

Per strade di tipo 2°

- 2.1. Due treni tipo (schema 1°, *Figura 5.1*) indefiniti di autocarri del peso totale di 12 tonnellate affiancati e, contemporaneamente, folla compatta 400 kg/m² sui marciapiedi;

- 2.2. Un treno tipo (schema 1°, *Figura 5.1*) indefinito di autocarri del peso di 12 tonnellate e una colonna di due rulli compressori da 18 tonnellate (schema 3°, *Figura 5.1*) affiancati e, contemporaneamente, folla compatta sull'area non occupata dai veicoli;
- 2.3. Due rulli compressori da 18 tonnellate (schema 3°, *Figura 5.1*) affiancati e, contemporaneamente folla compatta 400 kg/m² sull'area non occupata dai rulli;
- 2.4. Folla compatta 400 kg/m² su tutta la larghezza del ponte.

Per strade di tipo 3°

- 3.1. Un treno tipo (schema 1°, *Figura 5.1*) di autocarri del peso di 12 tonnellate e, contemporaneamente, folla compatta 400 kg/m² sull'area non occupata dai veicoli;
- 3.2. Un rullo compressore (schema 3°, *Figura 5.1*) da 18 tonnellate e, contemporaneamente, folla compatta 400 kg/m² sull'area non occupata dal rullo compressore;
- 3.3. Folla compatta su tutta la larghezza del ponte.

Per tener conto delle azioni dinamiche i carichi accidentali definiti dovevano essere aumentati del 25%, indipendentemente dalla tipologia di ponte.

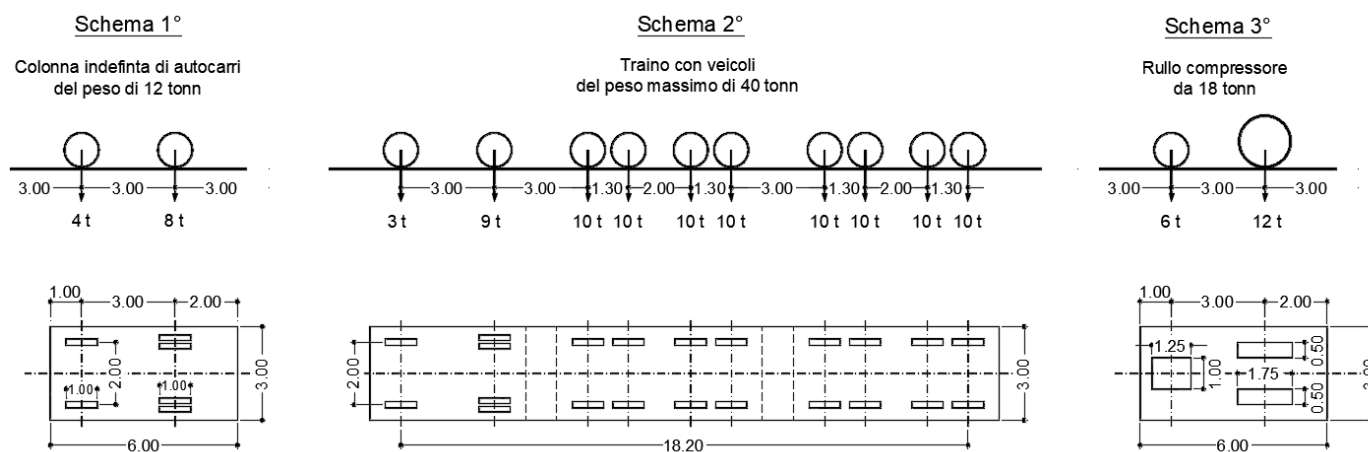


Figura 5.1 - Schemi di carico previsti dalla Normale n. 8 del 1933

La prima informazione che è necessario acquisire per condurre la valutazione preliminare di sicurezza è la categoria di strada per cui è stato progettato il ponte. Ovviamente questa è nota nel caso in cui si disponga del progetto originario; è difficilmente determinabile e, quindi, solo ipotizzabile, nel caso in cui il progetto originario non sia disponibile. In questo ultimo caso, occorre procedere in via cautelativa, assumendo la categoria di strada a cui sono associati gli schemi di carico che inducono gli effetti meno gravosi sugli elementi strutturali in confronto a quelli indotti dagli schemi di carico attualmente previsti dalle norme.

Il ponte preso ad esempio è a servizio di una strada di 2° categoria (secondo quanto deducibile dal progetto originario), ha una carreggiata stradale di larghezza complessiva pari a 9 m, con piano viabile di larghezza pari a 7 m e due marciapiedi pedonali laterali, ognuno di larghezza pari ad 1 m, come visibile dalla sezione in *Figura 5.2*.

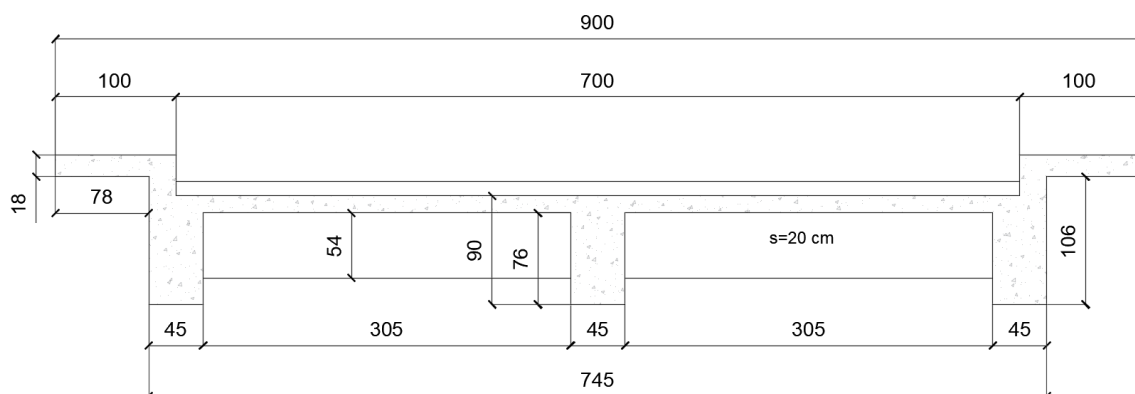


Figura 5.2 – Sezione trasversale dell'impalcato del ponte (quote in cm)

Ipotizzando che gli elementi strutturali siano stati progettati per avere risorse sufficienti nei confronti delle massime sollecitazioni indotte dai carichi da traffico previsti dalla norma, si procede disponendo, sulla sezione trasversale di impalcato, gli schemi di carico relativi alla categoria di interesse, in questo caso la 2°, in modo da massimizzare gli effetti sulle travi longitudinali. Sfruttando la teoria di Courbon - Engesser, quindi tenendo conto della ripartizione trasversale dei carichi, si valutano le reazioni ai carichi applicati, sia concentrati sia distribuiti, in corrispondenza delle travi. In Figura 5.3 è rappresentata l'applicazione degli schemi di carico previsti dalla combinazione 2.3, disposti in modo da massimizzare le reazioni indotte sulla trave laterale. L'effetto dei carichi distribuiti è tenuto in conto solo nel caso in cui il suo contributo sia sfavorevole per la trave considerata.

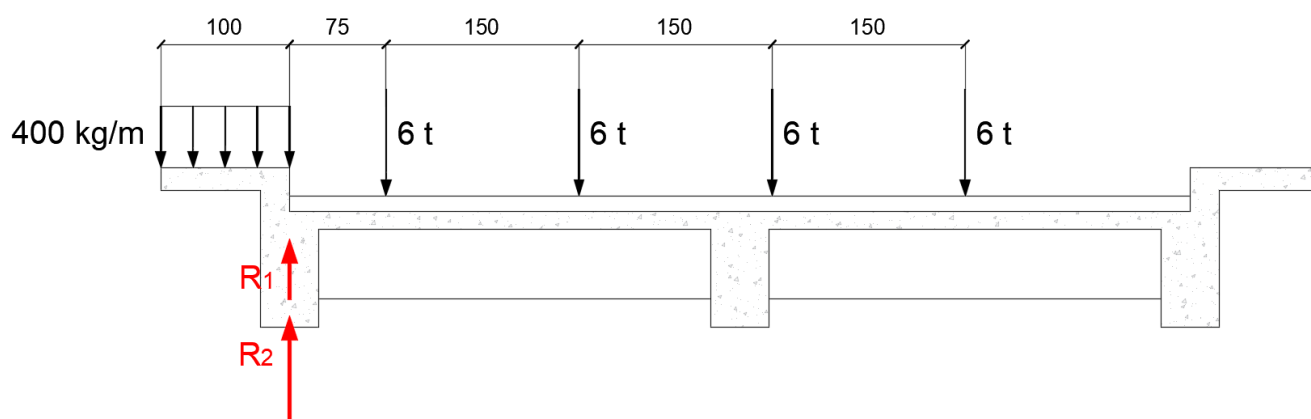


Figura 5.3 – Esempio di disposizione trasversale dello schema di carico previsto dalla combinazione 2.3 della Normale n. 8 (quote in cm).

R_1 = reazione dovuta ai carichi distribuiti su una larghezza di 1 m, pari a 0,45 t/m;

R_2 = reazione dovuta ai carichi concentrati, pari a 12,14 t.

Le reazioni indotte dai carichi ottenute per tutte le combinazioni previste per la categoria di strada di interesse, sono applicate sullo sviluppo longitudinale della trave, schematizzata come trave semplicemente appoggiata di luce 20 m, in modo da determinare gli effetti più gravosi, ovvero valutando, sulla base della teoria delle linee di influenza, la posizione dei carichi concentrati che massimizza, ad esempio, le sollecitazioni flettenti, come esemplificato in Figura 5.4 relativa alla combinazione 2.3.

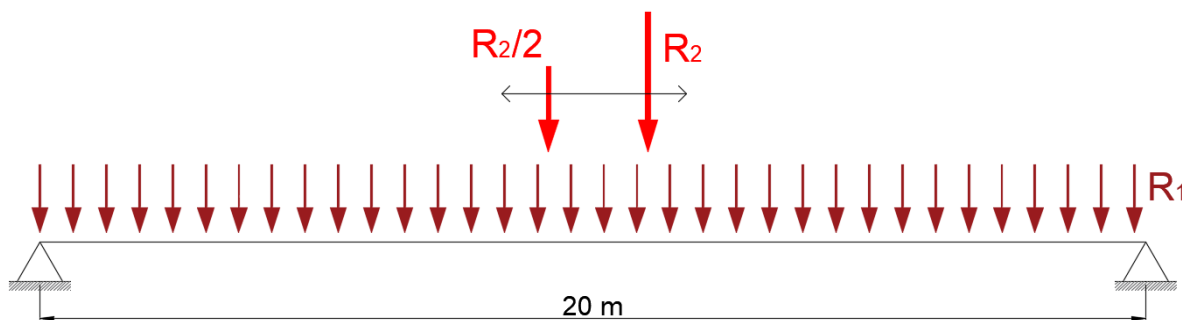


Figura 5.4 – Schema di carico longitudinale (combinazione 2.3)

Procedendo allo stesso modo per le altre combinazioni di carico, emerge che quella a cui corrisponde il momento flettente più elevato, assunto quindi come riferimento per la stima delle risorse della struttura, è la combinazione 2.2.

Il procedimento sopra descritto è applicato in maniera analoga per calcolare le massime sollecitazioni flettenti indotte sulla stessa trave di impalcato dagli schemi di carico da traffico previsti dalle Norme Tecniche attualmente vigenti (D.M. 17.01.2018), anch'essi disposti nelle posizioni più sfavorevoli, sia trasversalmente sia longitudinalmente.

Il rapporto tra le sollecitazioni indotte dai carichi di progettazione e quelle indotte dai carichi attualmente previsti dalle Norme Tecniche permette di stimare, se pur preliminarmente, le risorse minime garantite dall'applicazione della normativa di progettazione nei confronti della domanda calcolata secondo le Norme attuali, sulla base delle quali determinare la necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4. I valori ottenuti nel presente esempio sono riportati in *Tabella 5.1*.

Tabella 5.1 – Massime sollecitazioni flettenti calcolate con la Normale n.8 del 1933 e il D.M. 17.01.2018 e loro rapporto.
($M_{max,1933}$ = momento flettente massimo calcolato secondo la Normale n.8 del 1933; $M_{max,2018}$ = momento flettente massimo calcolato secondo il D.M. 17.01.2018, al netto dei fattori parziali)

$M_{max,1933}$	$M_{max,2018}$	$M_{max,1933}/M_{max,2018}$
1319 kNm	2217 kNm	0.59

ISTRUZIONE OPERATIVA 5.1

Si ricorda che le valutazioni di Livello 3 costituiscono uno strumento necessario per verificare se l'opera debba essere soggetta a valutazioni accurate di Livello 4. Come indicato nell'introduzione del capitolo 5, il Livello 3 considera:

- lo stato di conservazione dell'opera;
- il rapporto tra l'effetto dei carichi di progetto determinati con le norme dell'epoca e quelli derivanti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni ($D_{Norma\ epoca}/D_{2018}$).

ISTRUZIONE OPERATIVA 5.2

Si ricorda che i risultati delle valutazioni di Livello 3, in termini di rapporto tra l'effetto dei carichi di progetto determinati con le norme dell'epoca e quelli previsti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni, possono rappresentare un utile approccio da adottare come programmazione delle verifiche accurate in termini di prioritizzazione.

ISTRUZIONE OPERATIVA 5.3

Si chiarisce che, a valle della classificazione di Livello 2, le opere caratterizzate dalle classi di attenzione complessiva MEDIA o MEDIO-ALTA richiedono livelli di analisi più approfonditi, quali quelli previsti dal Livello 3. Attualmente, il Livello 3 prevede un approccio semplificato di valutazione preliminare soltanto nei confronti dei carichi da traffico. Questo approccio potrebbe essere limitante nel caso in cui le opere ricadano in Classe di Attenzione complessiva MEDIA o MEDIO-ALTA a causa dei rischi idraulico e frane.

In tal caso, nell'ottica di una progressività dell'approccio multilivello e ferma restando la valutazione di livello 4, si suggerisce di effettuare delle valutazioni preliminari di Livello 3 con riferimento agli specifici rischi, idraulico e frane, adottando opportuni approcci semplificati, in modo da definire i successivi eventuali piani di monitoraggio o la pianificazione delle ispezioni straordinarie ovvero valutazioni accurate di Livello 4.

ISTRUZIONE OPERATIVA 5.4

In assenza di specifiche indicazioni e quale utile riferimento, se, a seguito della classificazione di Livello 2, il ponte è risultato in Classe di Attenzione complessiva inferiore ad ALTA ma, relativamente ai soli fenomeni di natura idraulica, presenta una Classe di Attenzione ALTA o MEDIO-ALTA, è possibile effettuare una valutazione preliminare di Livello 3 di natura semplificata e meno onerosa rispetto alla valutazione accurata di Livello 4, seguendo lo schema operativo e le procedure riportati dettagliatamente nell'allegato "F_I.O. Ispezioni Speciali e Valutazione preliminare L3 per il rischio idraulico" che deve intendersi parte integrante della seguente Istruzione Operativa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 5.5

In assenza di specifiche indicazioni, può essere assunto, come utile di riferimento, che, nel caso in cui l'esito della valutazione preliminare non conduca a verifica accurata complessiva (Livello 4) e si debba procedere alla riassegnazione della Classe di Attenzione idraulica Livello 2, la classificazione del rischio idraulico sia effettuata secondo i criteri riportati nelle tabelle sottostanti.

Classe di attenzione per il fenomeno di sormonto

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Condizione	$F_{P2} > 3 \text{ m}$	Bassa				
	$1,5 \text{ m} \leq F_{P2} \leq 3 \text{ m}$	Medio-Bassa		Bassa		
	$0,8 < F_{P2} \leq 1,5 \text{ m}$	Medio-Alta	Media			
	Altrimenti	Alta				

Guardando alla lista delle Condizioni, partendo dall'alto si individua la prima condizione che risulta soddisfatta e la si incrocia, nella tabella, con la Classe di esposizione dell'opera. Si ottiene quindi la Classe di Attenzione per fenomeni di sormonto.

Classe di attenzione per i fenomeni erosivi

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Condizione	Fondazione equivalente a roccia	Bassa				
	Protezioni di fondo efficienti	Media				
	Protezioni di fondo in condizioni critiche	Alta				
	$d_s/d_r > 1,20$	Alta				
	$1,00 < d_s/d_r \leq 1,20$	Alta	Medio-Alta			Media
	$0,80 \leq d_s/d_r \leq 1,00$	Medio-Alta	Media			
	$0,60 \leq d_s/d_r < 0,80$	Media		Medio-Bassa		Bassa
	$d_s/d_r < 0,60$	Medio-Bassa		Bassa		
	Fondazione incognita	Alta				

Guardando alla lista delle Condizioni, partendo dall'alto si individua la prima condizione che risulta soddisfatta e la si incrocia, nella tabella, con la Classe di esposizione dell'opera. Si ottiene quindi la Classe di Attenzione per fenomeni erosivi.

Nota: Il calcolo di d_s comprende anche la componente derivante dall'erosione per contrazione.

PARTE II

LIVELLO 4: VERIFICA ACCURATA DELLA SICUREZZA

6. LIVELLO 4: VERIFICA ACCURATA

Il presente capitolo ha come oggetto la valutazione di sicurezza dei ponti esistenti, così come indicato al § 1.1, con l'obiettivo, ai fini dell'attuazione della procedura di cui alle presenti Linee Guida ed illustrata al § 1, di fornire indicazioni utili sia sulle impostazioni concettuali, sia sulle modalità operative di verifica, a partire dalle prime fasi, volte alla conoscenza del manufatto, sino alle fasi conclusive di intervento e/o come indicazioni tecniche per l'assunzione dei relativi conseguenti provvedimenti, definite in funzione dei risultati delle verifiche stesse. Le informazioni procedurali fornite sono da considerarsi indicative ma non esaustive di tutte le possibili situazioni riscontrabili. Caso per caso, è necessario specificare o dettagliare maggiormente le fasi di conoscenza, modellazione, analisi e valutazione della sicurezza in funzione delle peculiarità riscontrate. Come previsto al § 1.1, ferma restando la valenza generale di quanto indicato, il presente capitolo declina i dettagli operativi nel caso dei ponti stradali.

Il presente capitolo è organizzato in diversi paragrafi. Una breve introduzione illustra l'approccio della normativa vigente nei riguardi del tema affrontato. Nel § 6.1 sono presentati i concetti fondamentali e le strategie di valutazione alla base delle indicazioni fornite. Particolare riguardo è dedicato alla fase conoscitiva e alla definizione dei livelli di analisi in funzione della finalità della verifica che si intende perseguire, esplicitando nel dettaglio i casi in cui la valutazione della sicurezza è necessaria. Nel § 6.2, un'estesa e dettagliata trattazione è dedicata alle fasi del processo conoscitivo e le operazioni da svolgere per giungere ad avere buona consapevolezza del manufatto esistente. Il § 6.3 ha infine l'obiettivo di fornire indicazioni pratiche per l'esecuzione della valutazione della sicurezza, illustrando le fasi di modellazione, analisi e verifica e proponendo valori dei fattori parziali di sicurezza in funzione del livello di conoscenza raggiunto e della conseguente riduzione delle incertezze.

6.1 CONCETTI FONDAMENTALI E STRATEGIE PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

6.1.1 LA NORMATIVA VIGENTE

Le presenti Linee Guida sono coerenti con le Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17.01.2018, GU 20.02.2018) e con la relativa Circolare esplicativa (Circ. 21.01.201, n.7/CSLLPP, GU 11.02.2019). Di particolare riferimento è il Capitolo 8, sia per quanto riguarda i riferimenti espliciti ai ponti esistenti (paragrafo C8.8 della Circolare), sia per tutti gli aspetti relativi alle costruzioni in generale e quindi ai ponti, anche se non esplicitamente richiamati. Il problema della valutazione della sicurezza dei ponti esistenti è caratterizzato, del resto, da aspetti peculiari che richiederebbero una trattazione specifica e dettagliata al pari di quanto accade per i ponti di nuova costruzione, ai quali la norma dedica un proprio capitolo. In tale ottica, con riferimento alle problematiche che possono essere indotte sulle strutture esistenti da azioni idrauliche o da instabilità di versante occorre tenere in debito conto le indicazioni dettate dalle NTC2018 e dalla circolare esplicativa (G.U. 11.02.2019) con particolare riferimento alla "compatibilità idraulica" (§ C5.1.2.3), alle azioni idrodinamiche (§ C5.1.3.8) alla "progettazione geotecnica" (capitolo C6.3) in tutti i casi in cui la verifica di sicurezza dei ponti è dovuta al rischio idrogeologico, come precisato nel § 3.6.

Le presenti Linee Guida costituiscono, evidentemente, una prima integrazione delle norme vigenti sul tema specifico, costituendo così un punto di partenza per valutazioni più accurate e approfondite in materia.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.1.1

Il riferimento delle azioni idrodinamiche è contenuto al § 5.1.3.8 delle NTC2018 che a loro volta fanno riferimento al § 5.1.2.3 ed al § C5.1.2.3 della circolare esplicativa (G.U. 11.02.2019).

6.1.2 IL RUOLO FONDAMENTALE DELLA CONOSCENZA

La conoscenza del manufatto è un passaggio cruciale per comprendere il reale comportamento della costruzione, in funzione delle vicende costruttive, dei fenomeni di degrado e delle eventuali trasformazioni subite nel corso degli anni.

L'obiettivo principale del processo conoscitivo è la riduzione delle incertezze legate alla valutazione di carichi, comportamento dei materiali e delle strutture, ecc., così da raggiungere livelli di conoscenza appropriati in funzione delle verifiche da eseguire.

A tal fine sono definiti, come previsto dalla Circolare Esplicativa, livelli progressivi di approfondimento di conoscenza, indagine e verifica. Le informazioni sui dettagli costruttivi e sulle proprietà dei materiali si possono ricavare dall'esecuzione di campagne conoscitive successive, di volta in volta caratterizzate da maggior dettaglio, pianificate sulla base delle indicazioni ricavate da una valutazione preliminare di sicurezza che permette l'individuazione delle criticità e la messa a punto dei diversi piani di indagine. L'approfondimento delle indagini sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche preliminari consente di incrementare e dettagliare la conoscenza in maniera organica e critica, focalizzando l'attenzione laddove necessario. L'approfondimento progressivo delle indagini garantisce l'elaborazione di modellazioni strutturali caratterizzate da crescente accuratezza e pertanto l'esecuzione di

valutazioni di sicurezza più attendibili e meglio rappresentative del reale comportamento strutturale del manufatto, nonché l'impiego, opportunamente motivato, di fattori di confidenza e fattori parziali, ove possibile, via via minori.

6.1.3 LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E RELATIVI PROVVEDIMENTI

La valutazione della sicurezza dei ponti esistenti, da condursi secondo i dettami delle Norme Tecniche, presenta delle peculiarità in merito alla valutazione della vita di riferimento da assumere nel calcolo delle azioni, all'influenza dello stato di degrado sulla verifica e alla valutazione dei carichi da discutere con maggiore accuratezza. La definizione di tali peculiarità è basata sulle seguenti considerazioni concettuali:

- L'orizzonte temporale per cui si richiede il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza va assunto in funzione dello scopo cui è destinata l'analisi svolta. A tal proposito, si introduce il concetto di "tempo di riferimento", t_{ref} , ossia l'arco temporale cui è convenzionalmente riferita la verifica. Al termine di tale arco temporale, si presuppone in generale che le analisi siano da ripetere e vadano svolte ulteriori verifiche ed adottati i necessari provvedimenti per garantire il dovuto livello di sicurezza, in termini, ad esempio, di opere di rinforzo e riparazione o riduzione dei carichi. È quindi opportunamente definito, in funzione dello stato dell'opera e dell'intervento stesso, un intervallo di tempo, comunque non maggiore di t_{ref} , in cui occorre adottare interventi strutturali per garantire la sicurezza. Nelle more dell'effettuazione di tali interventi, è cura del gestore, mettere in atto tutti provvedimenti e/o le limitazioni conseguenti idonei a garantire comunque la sicurezza e l'incolumità pubblica. Il suddetto tempo definito per l'effettuazione degli interventi o per l'adozione dei provvedimenti atti a garantire la sicurezza e l'incolumità pubblica è comunicato agli Organi di controllo ed alle previste Banche dati.
- I ponti esistenti su cui non è stata eseguita una costante e corretta manutenzione anche strutturale sono generalmente affetti da numerosi fenomeni di degrado dovuti alle azioni ambientali (diverso è il caso degli edifici dove gli elementi resistenti primari sono, in genere, maggiormente protetti dalle intemperie). Occorre pertanto considerare con attenzione le effettive condizioni di conservazione del ponte e una sua configurazione di verifica degradata nel caso in cui i fenomeni di ammaloramento esistenti abbiano ridotto la capacità della struttura.
- L'entità delle azioni da traffico previste dalle Norme Tecniche costituisce un riferimento convenzionale da adottarsi per la progettazione dei ponti nuovi.

A tal proposito si richiama il punto 2.5.2 delle NTC 2018:

"Nel caso di azioni variabili caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno. Per le azioni ambientali (neve, vento, temperatura) il periodo di ritorno è posto uguale a 50 anni, corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 2% su base annua; per le azioni da traffico sui ponti stradali il periodo di ritorno è convenzionalmente assunto pari a 1000 anni."

Dunque il valore caratteristico del carico da traffico, che poi va ulteriormente amplificato per il calcolo allo Stato Limite Ultimo, dovrebbe avere periodo di ritorno 1000 anni; tale valore, purché si proceda ad un monitoraggio nei confronti del traffico, può essere sottoposto ad una riduzione, salvo prevedere adeguate verifiche, al termine della vita residua, e adottare conseguenti provvedimenti, inclusa, in ultima istanza nei casi estremi, la messa fuori uso e la sostituzione.

Inoltre, il carico verticale di calcolo, da amplificare mediante fattore parziale e quindi da considerare come carico di calcolo caratteristico, è costituito da un tandem a due assi complessivamente da 600 kN, insieme ad una stesa uniforme di carico sull'intera corsia di larghezza 3,0 m da 9 kN/m². Con tale stesa di carico, se si considera convenzionalmente una lunghezza del mezzo pari a 16,3 m (c.d. sagoma limite), si ottiene una risultante corrispondente ad un mezzo da 440 kN:

$$9 \text{ kN/m}^2 \times 3,0 \text{ m} \times 16,3 \text{ m} = 440 \text{ kN}.$$

Su tale lunghezza, il carico di norma risultante è dunque pari a:

$$600 \text{ kN} + 440 \text{ kN} = 1040 \text{ kN}.$$

Tale mezzo è largamente eccedente rispetto a quanto definito dal Codice della Strada; ne va autorizzato il transito da parte del gestore volta per volta.

La presenza, nella normativa tecnica per le costruzioni per le nuove opere, di un'unica categoria di ponte (ponti di prima categoria, non essendo più previsti i ponti di seconda categoria) è peraltro limitativa per la verifica dei ponti esistenti. Non è infatti possibile, seguendo le vigenti norme tecniche per le costruzioni per i ponti nuovi, distinguere tra opere d'arte che nella loro vita sperimentano carichi da traffico significativamente diversi tra di loro.

Qualora non vengano soddisfatte le verifiche di sicurezza richieste dalle norme, dovranno essere presi gli adeguati provvedimenti descritti nel § 6.1.5.

6.1.4 CASI IN CUI È NECESSARIA LA VALUTAZIONE DI SICUREZZA

I casi in cui è necessaria la valutazione della sicurezza secondo le Norme Tecniche si possono individuare da quanto riportato nel Cap. 8.3 “VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA” delle NTC 2018, dove viene affermato:

“La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d’uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d’uso superiore;*
- *esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;*
- *ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4;*
- *opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abilitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.*

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e su quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura.”

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.4.1

Il primo punto dell’elenco precedente, che richiama le condizioni nelle quali è obbligatoria l’esecuzione delle verifiche di sicurezza come elencate nel Cap. 8.3 “VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA” delle NTC 2018, riguarda la presenza di condizioni e di uno stato di degrado da constatarsi in fase di ispezione (come prevista al Livello 1 delle LLGG). A tal fine si effettua l’ispezione dell’opera e la compilazione delle schede difettologiche per la caratterizzazione dello stato di degrado, e di quelle relative al rischio frane ed idraulico, proprio per evidenziare eventuali danneggiamenti presenti a supporto della decisione di procedere con la valutazione della sicurezza.

In merito al secondo, terzo e quarto punto dell’elenco, si fa invece riferimento ad una serie di interventi e modifiche che l’opera potrebbe aver subito nel tempo, sulle quali si reperiscono informazioni durante la fase di Livello 0.

La Circolare, nel corrispondente punto C8.3, aggiunge il fondamentale concetto secondo cui:

“Tra i casi per i quali è obbligatorio procedere alla verifica della costruzione è escluso il caso conseguente ad una eventuale variazione dell’entità delle azioni a seguito di una revisione o della normativa o delle zonazioni che differenziano le azioni ambientali (sisma, neve, vento) nelle diverse parti del territorio italiano.”

Entrando nel merito del testo, si analizzano, in particolare, le parti sottolineate. Innanzitutto, risentendo forse della stesura pensata per edifici, non si menzionano effetti idraulici che possono essere cruciali nella valutazione della sicurezza dei ponti per cui le azioni ambientali da considerare diventano: *sisma, vento, neve, temperatura, frane, alluvioni*.

Riguardo la necessità di effettuare la valutazione di sicurezza nel caso di esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali che interagiscano comunque con gli elementi strutturali, si sottolinea l’importanza di valutare l’eventuale aggravio di carichi permanenti portati in relazione alle variazioni apportate alle barriere di sicurezza stradale (*guardrail* e *New Jersey*), oltre a controllare che le modalità di messa in opera delle stesse non abbiano arrecato problemi di durabilità al ponte (possibili infiltrazioni d’acqua).

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.4.2

Nell'indicare i casi in cui bisogna effettuare una valutazione della sicurezza, le NTC fanno anche riferimento al cambio di destinazione d'uso e alla variazione delle azioni che ne consegue. Nel caso dei ponti il criterio si estende a tutte quelle situazioni in cui il quadro delle azioni di progetto non sia coerente con le condizioni attuali, ad esempio a causa di lavori che abbiano determinato un incremento delle azioni permanenti o variazione delle azioni idrodinamiche connesse a variazioni di quota o di percorso dell'alveo. Sono escluse le variazioni di intensità/distribuzione dovute ad aggiornamenti normativi.

Oltre ai casi indicati sopra, e già previsti dalle NTC, la valutazione di sicurezza accurata è comunque richiesta nei casi previsti dalla Tab. 1.1 (ponti caratterizzati da elevata e grave fragilità strutturale, classe di attenzione alta, classe di attenzione medio-alta o media qualora la valutazione preliminare di livello 3 o l'esito del monitoraggio determini la necessità di una verifica accurata, cfr § 1.3).

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.4.3

In caso di intervento di ammodernamento di barriere di sicurezza è opportuno verificare anche che, con i nuovi sistemi, gli elementi strutturali esistenti (ad. es. travi di bordo, soletta, pile, etc.) siano in grado di sopportare le sollecitazioni derivanti dalle azioni eccezionali da urto.

La valutazione della sicurezza (§8.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni) è inoltre contemplata nel caso in cui si eseguano gli interventi strutturali previsti dal cap. 8.4 delle Norme Tecniche, ad esclusione delle riparazioni o interventi locali di cui al § 8.4.1. delle stesse NTC.

Infine, è fatto esplicito riferimento al "titolo abitativo", rendendo obbligatoria la verifica di sicurezza nel caso in cui si riscontri la sua assenza o eventuali difformità. Tale indicazione ha significato solo per edifici da abitazione e non per i ponti, a meno che il termine "titolo abitativo" non venga esteso con la dizione "titolo abitativo/autorizzativo" dandone un significato più generale.

Si evidenzia infine un punto di assoluta rilevanza nella concezione normativa nazionale: emerge infatti con chiarezza che non vi è generale obbligo di verifica strutturale qualora cambino solo le norme. Ciò implica che, nel caso dei ponti esistenti, non è strettamente necessario effettuare verifiche di sicurezza qualora siano cambiati i modelli di traffico e più in generale le azioni sui ponti, in seguito a variazioni dell'apparato normativo. Ciò ovviamente vale anche per le variazioni di zonizzazione sismica, da neve e da vento.

Le presenti Linee Guida, nell'ambito della classificazione del rischio associato ai ponti esistenti, analizzano i casi per cui la valutazione di sicurezza è comunque necessaria secondo la definizione data nel § 3.5 e quindi i Ponti e Viadotti con una Classe di Attenzione Alta e che richiedono livelli di approfondimento delle indagini e delle valutazioni più elevati e di essere soggetti, quindi, a valutazioni di sicurezza approfondite con i metodi trattati nel presente documento.

6.1.5 LIVELLI DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nel capitolo 8.3 delle Norme Tecniche è precisato:

"La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- *l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;*
- *l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);*
- *sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi";*
- *(...)*

È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio."

La Circolare, in posizione analoga, precisa ulteriormente che:

"Nel caso in cui l'inadeguatezza di un'opera si manifesti nei confronti delle azioni non sismiche, quali carichi permanenti e altre azioni di servizio combinate per gli stati limite ultimi secondo i criteri esposti nel § 2.5.3 delle NTC (eventualmente ridotte in accordo con quanto specificato al §8.5.5 delle NTC), è necessario adottare gli opportuni provvedimenti, quali ad esempio limitazione dei carichi consentiti, restrizioni all'uso e/o esecuzione di interventi volti ad aumentare la sicurezza, che consentano l'uso della costruzione con i livelli di sicurezza richiesti dalle NTC. Gli interventi da effettuare per eliminare le vulnerabilità più importanti possono anche essere parziali e/o temporanei, in attesa di essere completati nel corso di successivi interventi più ampi, atti a migliorare/adeguare complessivamente la costruzione e/o parti di essa.

Attesa l'aleatorietà dell'azione, nel caso in cui l'inadeguatezza di un'opera si manifesti nei confronti delle azioni sismiche, le condizioni d'uso, la necessità e la conseguente programmazione dell'intervento sono stabiliti sulla base di una pluralità di fattori, quali: la gravità dell'inadeguatezza e le conseguenze che questa comporterebbe anche in termini di pubblica incolumità, le disponibilità economiche, etc"

Nei casi in cui ciò non si verifichi, in relazione ai carichi verticali e dunque al traffico, le decisioni che si possono prendere sono:

- (a) limitare i carichi consentiti;
- (b) prevedere una restrizione all'uso del ponte;
- (c) eseguire interventi volti ad aumentare la sicurezza.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.1

Le tre azioni previste (limitazione dei carichi, restrizione all'uso e interventi volti ad aumentare la sicurezza) possono essere adottate in maniera separata o congiunta al fine di concorrere a raggiungere i livelli di sicurezza previsti per le azioni non sismiche.

Partendo da tali presupposti normativi, nel seguito, ai fini della presente Linea Guida, si definisce:

- 1) **ADEGUATO**, un ponte esistente per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite secondo le Norme Tecniche utilizzando i carichi e i fattori parziali in esse previsti. La sola variazione in diminuzione ammessa è quella del fattore parziale relativo ai carichi permanenti, qualora se ne verifichino le ipotesi come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche.
- 2) **OPERATIVO**, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite utilizzando i principi esposti nelle Norme Tecniche ma facendo riferimento nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali ad un tempo di riferimento ridotto. Il valore del tempo di riferimento, t_{ref} , convenzionalmente assunto a livello indicativo nelle presenti Linee Guida è pari a 30 anni. Nel calcolo del fattore parziale relativo ai carichi permanenti è ovviamente ancora possibile prevedere la diminuzione come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche, qualora se ne verifichino le ipotesi. Occorre, quindi, segnalare il ponte e gli esiti delle verifiche in banche dati istituzionali regionali e nazionali.
- 3) **TRANSITABILE**, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite su un orizzonte temporale ridotto, entro il quale si progettino e realizzino lavori di adeguamento o operatività, adottando i provvedimenti: (a) "limitazione dei carichi consentiti" o (b) "restrizione d'uso del ponte". La programmazione temporale dettagliata (crono programma) dei lavori occorre sia nota e trasferita a banche dati istituzionali regionali e nazionali. Nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali si adotta quindi un tempo di riferimento ridotto che nelle presenti Linee Guida è assunto non maggiore di $t_{ref} = 5$ anni. Nel calcolo del fattore parziale relativo ai carichi permanenti è ovviamente ancora possibile prevedere la diminuzione come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche, qualora se ne verifichino le ipotesi.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.2

All'interno dell'arco temporale definito dal tempo di riferimento t_{ref} utilizzato nelle verifiche per ponte **TRANSITABILE** è comunque possibile effettuare interventi per incrementare il livello di sicurezza del ponte, rendendolo, se possibile, **OPERATIVO**.

Se la criticità riscontrata nell'opera a seguito della classificazione è correlata a fenomeni di sormonto:

Il ponte potrà essere definito **ADEGUATO** se in conseguenza di approfondimenti di carattere idrologico ed idraulico, svolti secondo lo schema dello studio di compatibilità idraulica previsto per i ponti di nuova costruzione di cui ai punti 5.1.2.3 delle Norme Tecniche e C.5.1.2.3 e della Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, si rilevi un franco normale minimo di almeno 1,5 m al deflusso della portata di piena avente periodo di ritorno di 200 anni. Nel caso di ponti con intradosso a quote variabili, il franco deve essere posseduto per almeno 2/3 della luce. Qualora nella sezione oggetto dell'attraversamento si possa verificare il transito di tronchi di rilevanti dimensioni in relazione alla dimensione della sezione idraulica dell'attraversamento affinché il ponte possa definirsi **ADEGUATO** è necessario che sia rispettata anche la condizione aggiuntiva che il dislivello tra fondo e sottotrave sia non inferiore a 7 m.

Il ponte potrà essere definito **OPERATIVO** se in conseguenza di approfondimenti di carattere idrologico ed idraulico, svolti secondo lo schema dello studio di compatibilità idraulica previsto per i ponti di nuova costruzione nel paragrafo C5.1.2.3 delle Norme Tecniche, si rilevi un franco normale minimo non inferiore a 0,8 m al deflusso della portata di piena avente periodo di ritorno di 200 anni e non inferiore a 1,5 m al deflusso della portata di piena avente periodo di ritorno di 30 anni. Nel caso di ponti con intradosso a quote variabili, il franco deve essere posseduto per almeno 2/3 della luce.

Nel caso in cui, in conseguenza di approfondimenti di carattere idrologico ed idraulico, svolti secondo lo schema dello studio di compatibilità idraulica, si rilevi un franco normale minimo inferiore a 0,8 m al deflusso della portata di piena avente periodo di ritorno di 200 anni o inferiore a 1,5 m al deflusso della portata di piena avente periodo

di ritorno di 30 anni, il ponte potrà essere definito TRANSITABILE. Nel caso di ponti con intradosso a quote variabili, il franco deve essere posseduto per almeno 2/3 della luce. Il gestore dovrà mettere in atto misure gestionali che prevedano la chiusura dell'opera in caso di fenomeni meteorologici rilevanti che possano comportare riduzioni significative del franco idraulico.

Per tutti i livelli di analisi, le valutazioni sono condotte coerentemente con l'approccio agli stati limite con l'uso dei coefficienti parziali previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. Il livello di sicurezza è quantificato, assumendo per ogni livello di analisi il tempo di riferimento e i carichi da traffico previsti per esso, attraverso i parametri di verifica ζ_E e $\zeta_{V,i}$ definiti nel capitolo 8.3 delle Norme Tecniche:

“Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ζ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'i-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto $\zeta_{V,i}$ tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione”.

La Circolare, nella parte analoga, precisa inoltre che:

La valutazione della sicurezza degli edifici esistenti, per quanto possibile, deve essere effettuata in rapporto a quella richiesta per gli edifici nuovi. A tale scopo, le NTC introducono due nuovi parametri che costituiscono fattori indicativi per un rapido confronto tra l'azione sopportabile da una struttura esistente e quella richiesta per il nuovo:

- ζ_E , definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche (periodo proprio, fattore di comportamento ecc.). Il parametro di confronto dell'azione sismica da adottare per la definizione di ζ_E è, salvo casi particolari, l'accelerazione al suolo agS .
- $\zeta_{V,i}$, definito come il rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.”

Norma e Circolare chiariscono dunque la necessità di valutare i due parametri di verifica per azioni sismiche e per azioni controllate dall'uomo; la Circolare a riguardo riporta il termine “edifici”, ma può ritenersi che tale parte si riferisca a qualunque Costruzione o Struttura come riportato nel testo della Norma e nel resto del testo della Circolare appena trascritto.

Il calcolo del parametro ζ_E è previsto per le sole valutazioni del livello di sicurezza secondo le Norme Tecniche vigenti (Adeguamento), ma non nei livelli successivi (livelli di analisi Operatività e Transitabilità) i quali si concentrano sulla valutazione di sicurezza nei confronti delle sole azioni statiche e geotecniche.

Si precisa, inoltre, che la definizione formale del rapporto di sicurezza ζ_V fornita dalla norma a rigore ha significato per il solo livello di analisi “adeguamento”, in quanto, nei livelli successivi, la domanda per la quale si svolgono le valutazioni di sicurezza è determinata in condizioni differenti da quelle che si avrebbero per nuove costruzioni (t_{ref} ridotto, restrizioni all'uso, limitazioni di carico). Nella valutazione del rapporto di sicurezza, non si fa quindi riferimento al sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione bensì al sovraccarico verticale variabile relativo alle specifiche condizioni di verifica previste dal livello di analisi svolto.

Naturalmente entrambi i parametri di norma possono essere inferiori all'unità e quindi può accadere che la verifica possa non essere soddisfatta. Si precisa che dopo avere adottato i provvedimenti e le calcolazioni descritte nelle presenti linee guida, tutti i valori aggiornati di $\zeta_{V,i}$ devono essere non inferiori all'unità, nei limiti dei valori dei carichi e dei fattori parziali assunti. Per quanto riguarda invece ζ_E , la Norma e la Circolare introducono valori di riferimento e valutazioni specifiche.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.3

La condizione di operatività e transitabilità deve essere presa in considerazione solo dopo aver verificato che la condizione di ponte adeguato non è soddisfatta. La verifica sismica è comunque richiesta nell'ambito della valutazione della sicurezza prevista per il ponte adeguato. Può essere omessa nelle successive valutazioni relative alle condizioni di Operatività o Transitabilità.

6.1.5.1 Valutazione del livello di sicurezza secondo le Norme Tecniche

Si tratta di valutazioni a lungo termine finalizzate a determinare il livello di sicurezza nei confronti delle azioni previste dalle Norme Tecniche vigenti, tenendo conto dell'attuale stato di degrado strutturale del ponte. Sono previste, oltre che analisi e verifiche per carichi statici e analisi e verifiche sismiche, le verifiche di sicurezza nei confronti di alluvioni e frane. Nell'esecuzione delle verifiche è possibile variare in diminuzione il fattore parziale dei carichi permanenti, qualora si verifichino le condizioni descritte

in § 6.3.3.2. Inoltre la valutazione dello stato di degrado e la pianificazione degli eventuali interventi di ripristino sono parte integrante e sostanziale della valutazione.

Eventuali livelli di sicurezza sismica o idraulica insoddisfacenti richiedono una appropriata programmazione di interventi di miglioramento o adeguamento come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e dalla Circolare esplicativa, da stabilire sulla base di una pluralità di fattori quali la gravità dell'inadeguatezza e le conseguenze che questa comporterebbe anche in termini di incolumità pubblica, etc. Livelli di sicurezza insoddisfacenti nei riguardi delle azioni non sismiche, invece, necessitano di attenzione immediata in quanto legati all'usuale condizione di esercizio del ponte. In tal caso, si procede con i livelli di analisi successivi.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.1.1

Nella valutazione del livello di sicurezza secondo le Norme Tecniche, si richiede che la valutazione della sicurezza venga effettuata nei confronti di tutte le azioni indicate al § 5.1.3 delle NTC, combinando tali azioni come previsto nella tabella delle NTC 5.1.v.

Qualora l'assegnazione della classe di attenzione evidenzii un "rischio frana" o un "rischio idraulico", sarà necessario porre particolare attenzione alle azioni che ne possono conseguire, indicate dalle norme come $\varepsilon 4$ (§ 5.1.3.2, cedimenti NTC) e q_6 (§ 5.1.3.8, azioni idrostatiche NTC). L'assegnazione di tali azioni dovrà essere effettuata sulla base di approfondimenti specifici.

La nota sulla pianificazione degli interventi va intesa come segue: nel caso di degrado e di valutazione di sicurezza insufficiente, la valutazione di sicurezza deve essere accompagnata da un documento in cui il gestore espliciti le decisioni prese per la pianificazione degli interventi necessari, includendo i tempi previsti e le risorse che verranno rese disponibili.

6.1.5.2 Condizione di operatività

Qualora il livello di sicurezza per azioni non sismiche secondo le norme attuali sia insoddisfacente, nell'ottica di una programmazione degli interventi necessari in relazione all'insieme delle opere d'arte gestite, è possibile mantenere l'operatività del ponte anche al fine di garantire la corretta gestione della rete stradale e minimizzare i disagi al territorio. A tal proposito, è possibile assumere nella verifica di sicurezza un tempo di riferimento t_{ref} pari a 30 anni, durante il quale si assicura comunque il livello di sicurezza minimo per la salvaguardia della vita umana. Nella valutazione della sicurezza si assumono i carichi di riferimento previsti dalle Norme Tecniche e i fattori parziali valutati per il tempo di riferimento assunto, considerando la possibile riduzione dei fattori parziali relativi ai carichi permanenti funzione della riduzione delle incertezze ottenuta grazie all'approfondimento della conoscenza, come previsto al § 8.5.5 delle Norme Tecniche. La valutazione dello stato di degrado e la pianificazione degli interventi di ripristino sono parte integrante e sostanziale della valutazione.

Occorre segnalare il ponte e gli esiti delle verifiche in banche dati istituzionali regionali e nazionali. Al termine del tempo di riferimento, nel caso in cui non si sia provveduto all'adeguamento, occorre valutare e adottare idonei provvedimenti, compresa l'eventuale messa fuori servizio, ove necessaria.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.2.1

La nota sulla pianificazione degli interventi va intesa come indicato nella nota precedente.

6.1.5.3 Condizione di transitabilità

Qualora dalla valutazione del livello di sicurezza statico secondo le norme attuali emergano situazioni critiche tali da rendere necessaria in tempi brevi la progettazione di interventi strutturali finalizzati a raggiungere livelli di sicurezza accettabili, è comunque possibile, al fine garantire una minima transitabilità sul ponte, nel periodo necessario alla progettazione e realizzazione degli interventi, adottare provvedimenti di limitazione d'uso o di limitazione dei carichi.

Nel caso di limitazione d'uso, è possibile consentire il passaggio dei mezzi su un'unica corsia invece di due o provvedimenti simili, verificando nel complesso comportamento flessio-torsionale del ponte e delle parti laterali, quale sia la posizione più favorevole nei confronti della sicurezza per il passaggio. In tal caso è possibile assumere nella verifica di sicurezza e quindi dei fattori parziali, un tempo di riferimento t_{ref} pari a 5 anni, durante il quale occorre comunque assicurare il livello di sicurezza minimo allo stato limite ultimo.

Nel caso si adottino limitazioni di traffico occorre invece entrare nel merito del rapporto fra carichi da traffico "normativi", valutati cioè secondo le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, e carichi da traffico "da Codice della Strada". Tale rapporto non è per nulla trattato nel contesto normativo e diventa cruciale dal punto di vista operativo, perché le eventuali limitazioni alla circolazione possono essere soltanto basate sul Codice della Strada. Ai fini della verifica di sicurezza, da riferirsi ancora ad un tempo di riferimento t_{ref} pari a 5 anni, durante il quale occorre comunque assicurare il livello di sicurezza minimo allo stato limite ultimo,

nel seguito si forniscono i carichi da utilizzare (§ 6.3.2.2) e i relativi fattori parziali (§ 6.3.3.4) entrando nella cruciale questione della verifica operativa della limitazione del carico imposta mediante provvedimenti da Codice della Strada.

In tutti i casi, nella valutazione della sicurezza è ancora possibile considerare la riduzione dei fattori parziali relativi ai carichi permanenti funzione della riduzione delle incertezze ottenuta grazie all'approfondimento della conoscenza come previsto al § 8.5.5 delle Norme Tecniche. La valutazione dello stato di degrado e la pianificazione degli interventi di ripristino sono parte integrante e sostanziale della valutazione.

Entro il tempo di riferimento assunto, 5 anni, si provvede alla progettazione degli interventi ed alla loro attuazione. Resta inteso che la tempistica va rispettata in modo rigoroso, diversamente occorre valutare se consentire o meno l'ulteriore esercizio del ponte.

Gli esiti delle verifiche e l'iter di pianificazione, progettazione ed esecuzione degli interventi sono segnalate in banche dati istituzionali regionali e nazionali.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.1.5.3.1

Nel caso in cui si eseguano le verifiche di transitabilità in modo da consentire alla struttura di rimanere limitatamente fruibile, nell'attesa dell'esecuzione degli interventi che ne ripristino la totale funzionalità, è possibile anche prevedere l'istallazione di un sistema di monitoraggio o la pianificazione di azioni di monitoraggio che consentano di controllare l'evoluzione dello stato di conservazione della struttura e dei danni o difetti rilevati con particolare riferimento alle cause che hanno determinato le condizioni per l'esecuzione della verifica accurata. Il sistema di monitoraggio deve essere attivato entro 6 mesi dalla valutazione di sicurezza. Nel caso in cui tale controllo dia esito positivo, ossia da questo risulti che l'evoluzione del danneggiamento sia controllabile e gestibile, è possibile, allo scadere dei 5 anni, ossia del tempo di riferimento per il quale si è effettuata la verifica di transitabilità al tempo 0, ripetere l'esecuzione della verifica di transitabilità (verifica di transitabilità al tempo 1), sempre per un tempo di riferimento di 5 anni. L'estensione si interrompe nel caso in cui il monitoraggio dia evidenza di evoluzione non gestibile dei fenomeni posti sotto controllo. L'estensione può comunque essere effettuata una sola volta.

6.2 LA CONOSCENZA DEL PONTE

La conoscenza della storia del ponte rappresenta un elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale, sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.

Il percorso conoscitivo comprende attività diverse e strettamente interconnesse tra loro da eseguirsi con livelli successivi di approfondimento al fine di ottimizzare, sia in termini quantitativi sia in termini di costi e tempi, l'interazione diretta con il manufatto. Tali attività comprendono:

- a. L'analisi storico-critica;
- b. L'analisi del progetto originario;
- c. Il rilievo (geometrico-strutturale, dei dettagli costruttivi, del quadro fessurativo e dei dissesti);
- d. La caratterizzazione geologico-tecnica del sito;
- e. Le indagini finalizzate alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali.

Inoltre, nei casi in cui la verifica di sicurezza accurata sia necessaria per il rischio idrogeologico, a seguito delle ispezioni speciali come indicato nel § 3.6:

- f. L'inquadramento dell'ambito idraulico e l'evidenza di fenomeni di scalzamento delle pile o delle spalle nonché il livello di efficienza di eventuali opere di mitigazione o di laminazione delle portate di piena;
- g. L'inquadramento dell'assetto geo-morfologico e l'evidenza di movimenti di versante potenzialmente interagenti con la struttura o parti di essa, nonché la presenza e l'efficienza di passati interventi di stabilizzazione.

L'**analisi storico-critica** permette la ricostruzione del percorso morfologico-evolutivo del manufatto, tramite il reperimento di materiale documentario, relazioni tecniche, elaborati progettuali originari, ecc. Attraverso queste attività è possibile comprendere i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti dall'opera e le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario.

L'**analisi del progetto originario** consente la comprensione dell'idea progettuale e fornisce importanti indicazioni su possibili criticità in relazione a possibili errori o lacune di progettazione e all'affidabilità delle calcolazioni semplificate dell'epoca in termini di modellazione strutturale e di modelli di verifica.

Il **rilievo geometrico-strutturale** è finalizzato alla comprensione della geometria e dello schema strutturale del manufatto.

La documentazione progettuale disponibile corredata da un opportuno programma di indagini deve permettere di ricostruire con ragionevole confidenza il modello geometrico-meccanico della struttura, sulla base del quale effettuare le verifiche di sicurezza.

Il **rilevamento del quadro fessurativo e dei dissesti**, permette l'individuazione delle patologie del manufatto e delle sue componenti. Unitamente alle risultanze dei rilievi architettonico e strutturale e dell'analisi storico-critica, consente anche l'elaborazione di ipotesi sulla genesi dei sintomi presenti e la progettazione di sistemi di monitoraggio finalizzati a valutarne l'evoluzione.

La **caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica** del sito prevede l'individuazione dei principali elementi stratigrafici, litologico-tecnici, geomorfologici e sismici del sito, mediante l'effettuazione di indagini specifiche o l'interpretazione critica di documentazione esistente.

Le **indagini finalizzate alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali** si pianificano ed eseguono sulla base dei risultati ottenuti dalle precedenti attività di analisi storico-critica e di rilievo, mediante saggi in situ sugli elementi costruttivi e indagini in situ e/o in laboratorio sui materiali. La **caratterizzazione meccanica dei materiali** è volta ad individuare i parametri di resistenza e deformabilità dei materiali costituenti il ponte da impiegare in sede di modellazione, analisi e valutazione di sicurezza. In entrambi i casi è opportuno procedere per livelli successivi di approfondimento su elementi opportunamente selezionati, in maniera da ottenere una migliore conoscenza in corrispondenza delle zone caratterizzate da maggiore criticità e maggiore incertezza, limitando al minimo l'impatto delle indagini in situ, laddove non strettamente necessario.

Nei casi f) o g) è necessario effettuare ulteriori valutazioni e l'inquadramento nell'ambito idraulico e morfologico e l'inquadramento dell'assetto geo-morfologico che seguono.

L'**inquadramento dell'ambito idraulico e morfologico** e lo stato di conservazione delle opere eventualmente presenti in alveo (pile e spalle, opere di mitigazione/laminazione delle piene) consentono di formulare valutazioni di possibili danni che possano determinarsi al verificarsi di evento di frana o di piena. In condizioni di evidenza risulta indispensabile realizzare sistemi di monitoraggio atti alla valutazione in real-time della eventuale evoluzione dei fenomeni.

Analogamente, l'**inquadramento dell'assetto geo-morfologico** permette di individuare potenziali eventi di frana che possono coinvolgere la struttura o parti di essa, evidenziando possibili e specifici caratteri evolutivi e fattori di innesco. È opportuno rivolgere particolare attenzione alla presenza di passati interventi di stabilizzazione e alla loro attuale efficienza, nonché alla disponibilità di misure provenienti da piani di monitoraggio e controllo.

6.2.1 IL PERCORSO ITERATIVO DELLA CONOSCENZA

Come già premesso, il percorso conoscitivo è organizzato per livelli progressivi di approfondimento di conoscenza, indagine e verifica. Le informazioni sui dettagli costruttivi e sulle proprietà dei materiali si possono ricavare dall'esecuzione di campagne conoscitive successive, di volta in volta caratterizzate da maggior dettaglio, organizzate sulla base di una verifica preliminare di sicurezza che permetta l'individuazione degli elementi critici per il funzionamento del ponte e la messa a punto dei diversi piani di indagine.

A tal fine, la veridicità del materiale originario di progetto, se presente, può essere verificata in situ mediante saggi a campione finalizzati a valutare la rispondenza tra quanto ipotizzato in fase di progetto e quanto realizzato in fase di esecuzione. Qualora sia riscontrata buona rispondenza tra stato di progetto e stato di fatto, utilizzando le informazioni disponibili è possibile ricostruire un modello strutturale finalizzato alla valutazione preliminare della sicurezza. Al contrario, nel caso in cui la rispondenza tra stato di fatto e stato di progetto sia assente o parziale, le informazioni reperite possono comunque consentire una valutazione di sicurezza preliminare basata sull'assunzione di schemi strutturali semplificati anche al fine di indirizzare le indagini sperimentali verso le zone o elementi più critici rispetto al comportamento globale.

Nel caso invece in cui non sia stato reperito il materiale originario di progetto, l'analisi della sicurezza statica e della vulnerabilità sismica è preceduta da una preventiva campagna conoscitiva "diffusa" sull'intero manufatto, consistente in un numero limitato di indagini su elementi strutturali e dettagli costruttivi. In tal modo è possibile effettuare analisi strutturali preliminari, anche locali o semplificate, che garantiscano il raggiungimento di risultati attendibili. L'approfondimento delle indagini sulla base dei risultati forniti dalle verifiche preliminari consente di incrementare e dettagliare la conoscenza in maniera organica e critica, evitando quanto non strettamente necessario e ridondante e focalizzando l'attenzione laddove necessario. L'approfondimento progressivo delle indagini garantisce l'elaborazione di modellazioni strutturali caratterizzate da crescente accuratezza e pertanto l'esecuzione di valutazioni di sicurezza più attendibili e meglio rappresentative del comportamento strutturale del manufatto, nonché l'impiego, opportunamente motivato, di fattori di confidenza e fattori parziali via via minori.

6.2.2 INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI E DEI MATERIALI

Le campagne conoscitive sono finalizzate alla ricostruzione dei dettagli costruttivi ed alla caratterizzazione meccanica sperimentale dei materiali e delle strutture sulla base dei risultati dell'analisi storico-critica e dei rilievi geometrico e strutturale.

Anche in presenza di documentazione originaria di progetto possono essere opportune indagini per verificare ed integrare le informazioni possedute. In particolare, si individuano:

- saggi in situ sugli elementi costruttivi;
- prove sperimentali per la determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali e delle strutture;

- rilievi in situ e carotaggi per la determinazione dello stato di durabilità dei materiali calcestruzzo, acciaio per c.a., acciaio per c.a.p., acciaio da carpenteria.

Come più volte accennato, le campagne conoscitive sono organizzate per livelli successivi di approfondimento:

- il primo livello di indagine è mirato al reperimento delle informazioni sufficienti all'esecuzione di una valutazione di sicurezza preliminare sulla costruzione, che permetta di individuare le zone affette da maggiori problematiche, maggiormente sollecitate, o anche meno conosciute;
- i livelli successivi di indagine sono 'calibrati' sui risultati delle verifiche precedenti, permettendo di ottimizzare la conoscenza e, conseguentemente, di elaborare modellazioni via via più raffinate e che garantiscono una maggiore attendibilità dei risultati.

La valutazione critica dei risultati ottenuti da ciascun livello di approfondimento di conoscenza/indagine effettuato, in riferimento alla tipologia di materiale ed alle relative caratteristiche meccaniche ipotizzate per l'elemento considerato, permette l'aggiornamento e l'integrazione delle campagne sperimentali.

I saggi in-situ finalizzati alla definizione dei dettagli costruttivi e dei materiali, sia in termini di caratterizzazione meccanica sia di durabilità, si eseguono su una congrua percentuale di elementi strutturali, privilegiando quelli che rivestono un ruolo di primaria importanza nella struttura.

Si sottolinea l'estrema importanza della valutazione di durabilità dei cavi da precompressione nel sistema post-teso, tramite indagine di integrità delle guaine e dello stato di corrosione in sezioni critiche per flessione o taglio e nelle zone di ancoraggio e della valutazione dell'integrità dell'opera nei casi di particolare fragilità strutturale, come, ad esempio, nel caso di appoggi tipo Gerber nei ponti di calcestruzzo armato.

Il quantitativo di saggi in-situ, sia per la caratterizzazione meccanica che di durabilità, dipende dal grado di conoscenza della struttura che si vuole raggiungere, tenendo presenti le informazioni effettivamente possedute al momento in cui si intraprendono le operazioni di rilievo, modellazione, analisi e valutazione della sicurezza.

La circolare applicativa alle Norme Tecniche per le Costruzioni (circ. 7/2019) individua tre diversi livelli di approfondimento per lo svolgimento delle indagini. Nello specifico:

- (a) Indagini limitate. Consentono di valutare, mediante saggi a campione, la corrispondenza tra quanto riportato nei disegni costruttivi (o ipotizzato attraverso il progetto simulato) e quanto presente in situ. I saggi si eseguono su un numero limitato di posizioni opportunamente selezionate.
- (b) Indagini estese. Quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali o quando le informazioni sono comunque insufficienti e/o incomplete, al fine di ottenere una conoscenza diffusa sul manufatto che consenta una valutazione preliminare della sicurezza, si eseguono saggi in situ su un numero maggiore di posizioni rispetto al caso di indagini limitate.
- (c) Indagini esaustive. Si effettuano quando si desidera raggiungere un accurato livello di approfondimento conoscitivo sul manufatto o su porzioni significative di esso e non sono disponibili gli elaborati progettuali originari. Si esegue, ad esempio, come fase successiva di approfondimento in corrispondenza delle zone affette da maggiori criticità o sulle quali persistono maggiori incertezze.

Nella Circolare delle Norme Tecniche, relativamente agli edifici esistenti, si lega il livello delle indagini (limitato, esteso, esaustivo) alla quantità di rilievi dei dettagli costruttivi e di prove da effettuarsi per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali. Le tabelle presenti in Circolare non sono evidentemente applicabili ai ponti esistenti. Il numero complessivo e la localizzazione delle indagini sugli elementi sono quindi calibrati dal tecnico incaricato in relazione alle informazioni reperite sul manufatto ed ai risultati ottenuti dalle eventuali valutazioni preliminari della sicurezza. Essi possono pertanto essere "modulati" in virtù del livello di conoscenza che si vuole raggiungere e di quanto già si conosce.

Nei casi indicati alle lettere (a) e (b), le informazioni reperite possono essere impiegate per l'esecuzione delle valutazioni preliminari di sicurezza sul manufatto, permettendo di individuare le zone affette da maggiori criticità e/o scarsa conoscenza, sulle quali concentrare i successivi approfondimenti. I saggi di cui al punto (c) consentono di elaborare modellazioni più raffinate e verifiche di sicurezza conseguentemente più accurate.

In particolare, relativamente alla caratterizzazione dei materiali di un ponte esistente, al pari di qualsiasi altra costruzione, si può far riferimento al punto 8.5.3 delle NTC 2018.

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di costruzioni sottoposte a tutela, ai sensi del D.Lgs. 42/2004, di beni di interesse storico-artistico o storico-documentale o inseriti in aggregati storici e nel recupero di centri storici o di insediamenti storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione. I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei Materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell'entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni. Per le prove di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC o eventuali successive modifiche o interazioni, il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove stesse devono essere effettuate a cura di un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR380/2001.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.2.2.1

Si ricorda che, come indicato nella Circolare applicativa del CSLLPP 21 gennaio 2019, n. 7, il livello di approfondimento delle indagini e/o delle prove necessario per raggiungere lo stesso Livello di Conoscenza può essere differente per diverse parti d'opera (travi, solette, pile, spalle, etc.), in funzione della documentazione e in base alla quantità e qualità delle informazioni che si hanno a disposizione sull'opera e il suo contesto. La completezza della documentazione può essere riferita ai singoli elementi e/o parti d'opera piuttosto che all'intera opera.

Si ricorda altresì che la scelta del Livello di Conoscenza obiettivo, differenziato per materiale e/o per parte d'opera, può essere calibrata sviluppando modelli preliminari dell'opera, anche semplificati, mirati a identificare i meccanismi di collasso e gli elementi deficitari ed effettuando valutazioni numeriche preliminari sugli elementi strutturali principali che indirizzino sul Livello di Conoscenza da conseguire.

Per il raggiungimento del livello di approfondimento richiesto (indagini limitate, estese, esaustive) possono essere utilizzati i risultati di indagini e/o prove da campagne eseguite in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui si dispone un'adeguata documentazione.

6.2.3 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Il problema è esaminato brevemente nella NTC al par. 8.5.4 ed in via più estesa nella Circolare al punto C8.5.4. Nella breve parte normativa sono solo enucleati i seguenti principi:

"8.5.4. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare nelle verifiche di sicurezza. Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti, ordinati per informazione crescente: -LC1; - LC2; - LC3. Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria della struttura, dettagli costruttivi, proprietà dei materiali, connessioni tra i diversi elementi e loro presumibili modalità di collasso. Specifica attenzione dovrà essere posta alla completa individuazione dei potenziali meccanismi di collasso locali e globali, duttili e fragili"

Dunque tanto le definizioni dei tre Livelli di Conoscenza, quanto il relativo valore numerico sono indicati in un documento di rango inferiore. Anche in questo caso è evidente che le Norme Tecniche si riferiscono prevalentemente agli edifici, ma molte parti sono applicabili, salvo qualche caso, anche ai ponti. Particolarmente rilevante è quanto riportato all'inizio di C8.5.4:

C8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA I fattori di confidenza sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto. Limitatamente al caso di verifiche in condizioni non sismiche di singoli componenti (ad esempio solai sui quali siano state condotte indagini particolarmente accurate) oppure di verifiche sismiche nei riguardi dei meccanismi locali, è possibile adottare livelli di conoscenza differenziati rispetto a quelli impiegati nelle verifiche sismiche globali.

È quindi chiarito che si possono utilizzare livelli di conoscenza differenziati, approfondendo la conoscenza delle parti della struttura per le quali la verifica risulta più delicata, senza necessariamente estendere tale livello di conoscenza all'intera struttura, comprese parti difficili e costose da analizzare e che sono in sicurezza anche perseguendo livelli meno accurati. Tale concetto, oltre che per i solai di un edificio presi ad esempio nel testo della circolare, si può ritenere valido anche per parti di strutture da ponte, quali ad esempio parti di soletta, zone di transizione, dettagli strutturali locali, ecc. Analoghe considerazioni possono essere fatte per la verifica sismica. In tal senso, l'approccio iterativo, indicato nelle presenti linee guida, per l'esecuzione delle indagini ben interpreta quanto previsto dalla circolare, consentendo di approfondire le indagini solo laddove necessario e quindi di calibrare il livello di conoscenza e il relativo fattore di confidenza secondo le effettive esigenze.

Nell'analisi dei fattori di confidenza, FC, è importante sottolineare un ulteriore aspetto, a cui fa riferimento il punto C8.5.4 della Circolare:

"Di seguito, con riferimento alle specifiche contenute al § 8.5 delle NTC, è riportata una guida alla stima dei Fattori di Confidenza (FC), definiti con riferimento ai tre Livelli di Conoscenza (LC) crescenti, secondo quanto segue. LC1: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini limitate sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove limitate sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,35$ (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC2 solo a causa di una non estesa conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione); LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e indagini estese sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1,2$ (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC3 solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);

LC3: si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, come descritta al § C8.5.1, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, e indagini esaustive sui dettagli costruttivi, come descritto al § C8.5.2, prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, come indicato al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1$ (da applicarsi limitatamente ai valori di quei parametri per i quali sono state eseguite le prove e le indagini su citate, mentre per gli altri parametri meccanici il valore di FC è definito coerentemente con le corrispondenti prove limitate o estese eseguite).

Per raggiungere il livello di conoscenza LC3, la disponibilità di un rilievo geometrico completo e l'acquisizione di una conoscenza esaustiva dei dettagli costruttivi sono da considerarsi equivalenti alla disponibilità di documenti progettuali originali, comunque da verificare opportunamente nella loro completezza e rispondenza alla situazione reale."

Dunque il fattore di confidenza, FC, varia da 1,0 a 1,35. Importante è interpretare la parte evidenziata con sottolineatura: per le "costruzioni di acciaio" si possono usare valori di FC ridotti "giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione". È evidente la volontà di non penalizzare troppo il materiale che ha una intrinseca variabilità bassa, essendo noto che il coefficiente di variazione (COV) dell'acciaio ha valori limitati rispetto, ad esempio, al calcestruzzo gettato in opera.

Naturalmente quanto detto vale laddove si sia verificato che l'acciaio non abbia chiari segni di corrosione, nel qual caso la variabilità del risultato che si ottiene dalle prove può essere elevata, ma non a causa della variabilità delle caratteristiche meccaniche.

Particolare attenzione va comunque dedicata ai ponti d'epoca. Le proprietà meccaniche dei materiali costituenti i ponti metallici possono essere infatti caratterizzate da variabilità molto diverse a seconda dell'epoca di costruzione e della tecnica di produzione degli elementi metallici.

Si osservi, inoltre, come l'ultima parte del testo citato, sottolineato per semplicità espositiva, ribadisca il principio secondo cui livelli di conoscenza possono essere differenziati in funzione delle indagini e delle prove eseguite, lasciando al tecnico incaricato l'interpretazione e le limitazioni specifiche da imporre, stante la grande variabilità delle possibilità e la particolarità connesse all'esame dei ponti esistenti.

Con riferimento ai ponti, il livello di conoscenza da perseguire per i componenti strutturali critici dovrebbe essere sempre quello accurato (LC3), come già suggerito dalla Circolare 617/09, sia per l'importanza delle opere in esame, sia per la necessità di non sottostimare in maniera sovra-conservativa l'effettiva capacità delle strutture.

6.2.4 PONTI METALLICI STORICI

Particolari cautele devono essere prese nei riguardi dei ponti metallici storici, realizzati prevalentemente nel diciannovesimo secolo, in materia di conoscenza del ponte.

Si richiama al riguardo l'attenzione sui seguenti aspetti:

- **Materiali**

I materiali utilizzati in quel periodo, la ghisa e il ferro, hanno caratteristiche diverse da quelle dei materiali metallici attuali, sui quali sono tarati gli attuali coefficienti ponderali.

La ghisa, in particolare, ha bassa duttilità e occorre tenerne conto con adeguati aumenti dei coefficienti ponderali. Prove di laboratorio sui materiali impiegati atte a qualificarne la resistenza e l'allungamento a rottura sono in questi casi indispensabili.

- **Protezione**

L'uso frequente di elementi metallici in composizione chiodate rende altrettanto frequente, se la verniciatura non è stata correttamente rinnovata, l'ossidazione delle superfici giustapposte delle lamiere o profili che compongono le sezioni ed il distacco delle stesse a causa dell'espansione dell'ossido di ferro.

Queste situazioni, quando coinvolgono elementi strutturali principali, sono da sanare prima di autorizzare l'esercizio del ponte.

- **Sistemi costruttivi**

La conoscenza del sistema costruttivo del ponte che si presenta iperstatico è essenziale ed indispensabile per la interpretazione dello stato tensionale nel manufatto, e pertanto occorre acquisirla con analisi storico-tecnica e con un attento esame ingegneristico del manufatto.

6.3 MODALITÀ OPERATIVA DI VERIFICA

Nei paragrafi che seguono sono fornite le ipotesi e le indicazioni pratiche per lo svolgimento delle valutazioni, una volta terminata la fase conoscitiva.

Le indicazioni riportate sono riferite ai diversi livelli di analisi individuati, specificando di volta in volta le ipotesi e i criteri assunti.

Al netto della fase conoscitiva, ampiamente trattata nel capitolo precedente, le fasi operative di svolgimento delle valutazioni, schematicamente, sono:

- valutazione delle azioni: carichi permanenti, azioni da traffico, azione sismica e altre azioni;
- combinazioni di carico: combinazioni statiche e sismiche e relativi coefficienti parziali di sicurezza;

- valutazione dei parametri meccanici dei materiali e relativi coefficienti parziali di sicurezza;
- modellazione della costruzione, materiali ed azioni;
- analisi strutturale e valutazione delle azioni statiche e dinamiche;
- valutazione della resistenza e verifiche di sicurezza statiche e sismiche.

6.3.1 IPOTESI E FINALITÀ DEI LIVELLI DI VALUTAZIONE

Come già premesso, le valutazioni sono svolte su più livelli, in funzione della finalità per cui esse sono richieste e in modo da ottimizzare il processo decisionale successivo relativo ai provvedimenti e agli interventi da intraprendere.

La definizione dei livelli e i concetti fondamentali sono riportati nel § 6.1.5 del presente documento.

In *Tabella 6.1* si riportano, per chiarezza di esposizione, il riepilogo dei livelli di analisi da svolgere e i parametri fondamentali.

Tabella 6.1 - Livelli di analisi in funzione delle finalità delle verifiche

	Obiettivi	Carichi da traffico	t_{ref}
COMPLETA ADEGUATEZZA Valutazione del livello di sicurezza secondo le norme attuali (NTC 2018)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale, sismico e idraulico (alluvioni e frane) come previsto dalle NTC 2018, con eventuale riduzione fattori parziali carichi permanenti	Schemi convenzionali previsti dalle NTC 2018	Vita nominale (V_N) come da NTC 2018

Se il livello di sicurezza strutturale (statica/geotecnica) è insufficiente rispetto alle NTC

OPERATIVITA'	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ridotto e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con fattori parziali ridotti	30 anni
TRANSITABILITA' NTC 2018 (Immediata transitabilità 1)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto imponendo restrizioni all'uso del ponte e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con restrizioni di uso e fattori parziali ridotti	5 anni
TRANSITABILITA' CdS • PESANTE • INTERMEDIA • LEGGERA • AUTOVEICOLI (Immediata transitabilità 2)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto, imponendo limitazione dei carichi secondo CdS e con relativi fattori parziali ridotti	Schemi da CdS con relativi fattori parziali ridotti	5 anni

Nei paragrafi che seguono, sono riportate le indicazioni utili per eseguire le valutazioni di sicurezza per ogni livello di analisi (*Tabella 6.1*) relativamente a:

- carichi da traffico (§ 6.3.2.2)
- fattori parziali (§ 6.3.3).

6.3.2 VALUTAZIONE DELLE AZIONI

6.3.2.1 Carichi permanenti

Per la definizione dei carichi permanenti si fa riferimento a quanto specificatamente riportato nelle Norme Tecniche vigenti.

Nella valutazione dei carichi permanenti, la disponibilità di misurazione diretta di geometria e densità dei materiali strutturali e non strutturali costituisce certamente un vantaggio statistico rilevante.

A tal proposito è possibile richiamare la seconda parte del punto 8.5.5 delle Norme Tecniche:

8.5.5. AZIONI "I valori delle azioni e le loro combinazioni da considerare nel calcolo, sia per la valutazione della sicurezza sia per il progetto degli interventi, sono quelle definite dalla presente norma per le nuove costruzioni, salvo quanto precisato nel presente capitolo. Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a γ_G valori esplicitamente motivati. I valori di progetto delle altre azioni saranno quelli previsti dalla presente norma."

Dunque il valore di $\gamma_G = 1,35$ previsto per le nuove costruzioni rappresenta un massimo. Nel § 6.3.3.2 è precisato sotto quali condizioni e con quali regole si può assumere un valore inferiore.

6.3.2.2 Azioni variabili da traffico

Le azioni variabili da traffico da considerare in fase di verifica sono definite per ogni livello di analisi individuato.

In particolare, nel caso di ponte ADEGUATO, si applica la normativa tecnica vigente, per cui si fa riferimento agli schemi convenzionali di carico mobile descritti nel § 5.1.3.3.3 delle Norme Tecniche.

La norma non indica possibilità di diminuzione dei carichi da traffico rispetto alle nuove costruzioni. Deve essere però fatta una considerazione al riguardo. L'abbattimento dell'incertezza di modello che si ottiene da prove strutturali al vero ha un positivo valore statistico, senza nulla togliere alla variabilità dei carichi stessi. L'abbattimento di tale incertezza può valere fino ad 1.05 come riportato in molti documenti pre-normativi. Nelle presenti linee guida è considerata la possibilità di tener conto dell'abbattimento delle incertezze e forniti i relativi fattori parziali di sicurezza ridotti.

Il livello di verifica indicato come OPERATIVO prevede la possibilità di riduzioni dell'uso del ponte, nel caso in cui il livello di sicurezza strutturale (statico e fondazionale) calcolato utilizzando le prescrizioni riportate nelle Norme Tecniche sia insoddisfacente. La valutazione di sicurezza, in tal caso, è svolta impiegando gli schemi di carico previsti dalle Norme Tecniche, ma con fattori parziali ridotti in considerazione del tempo di riferimento ridotto.

Nel livello di verifica indicato come TRANSITABILITA' (1) o TRANSITABILITA' NTC 2018, ovvero con limitazioni geometriche d'uso, si utilizzano ancora gli schemi di carico delle Norme Tecniche con coefficienti parziali ridotti, ma adattandoli alla nuova configurazione geometrica assunta dalla carreggiata stradale a seguito dell'introduzione del provvedimento preso. Nel caso in cui, ad esempio, sia prevista l'imposizione di un senso unico alternato su una strada a doppia corsia, gli schemi convenzionali di carico previsti dalla norma saranno applicati considerando la riduzione della larghezza della carreggiata.

Nel Livello di verifica indicato come TRANSITABILITA' (2) o TRANSITABILITA' AI MEZZI PESANTI, MEZZI INTERMEDI, MEZZI LEGGERI e AUTOVEICOLI si prevede l'imposizione di limitazioni di carico. La limitazione di carico è definita in modo coerente con quanto previsto dal Codice della Strada e il massimo peso dei veicoli ammesso sul ponte scelto in modo da garantire un adeguato livello di sicurezza della struttura. A seconda della limitazione di carico, si assumono quindi opportune distribuzioni di carico mobile che permettano di rappresentare gli effettivi mezzi circolanti. I fattori parziali differiscono in modo sostanziale a seconda del controllo che si effettua sui carichi che effettivamente transitano sul ponte. In tal senso, di elevata utilità è la pesatura dinamica dei carichi, integrata con regole di arresto immediato dei mezzi in tempo reale in caso di veicoli con eccesso di carico.

In particolare si considera un primo schema di carico corrispondente ad un autoarticolato a 5 assi da 440 kN (44 t), limitazione standard del Codice della Strada; potrebbe essere quella rappresentata in *Figura 6.1* considerando i 440 kN distribuiti su una lunghezza di 11 m. Tale caso è definito come "Transitabilità ai mezzi pesanti".

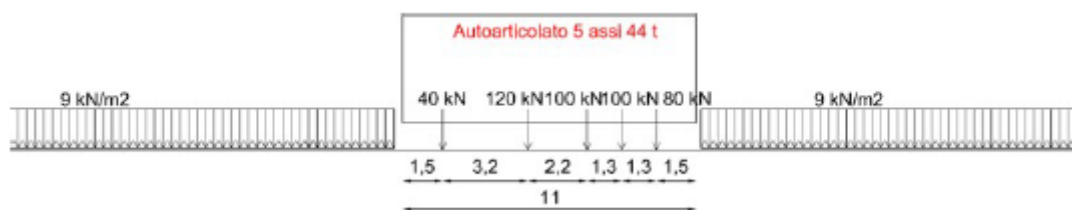


Figura 6.1 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 440 kN

Si considera un secondo schema di carico, corrispondente a specifica limitazione da Codice della Strada a mezzi a 3 assi con massa limite da 26 t. Una possibile definizione dello schema di carico corrispondente è fornita in *Figura 6.2*, rappresentativa di una condizione di "Transitabilità ai mezzi intermedi":

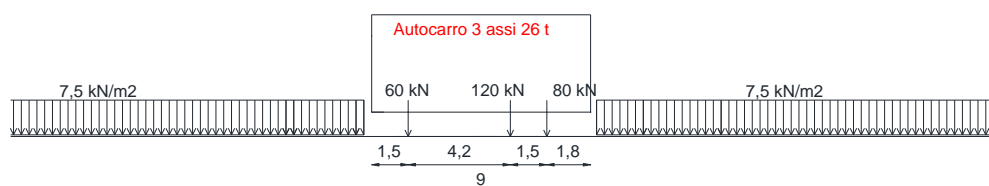


Figura 6.2 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 260 kN

Analogamente, si considera un secondo schema di carico corrispondente ad un'altra limitazione da Codice della Strada, costituita dal mezzo da 75 kN ovvero un mezzo pesante di tipo "leggero". Una possibile definizione dello schema di carico

corrispondente è fornita in *Figura 6.3*. Tale caso è definito anche come “Transitabilità ai mezzi leggeri”.



Figura 6.3 – Possibile distribuzione di carico corrispondente ad un mezzo di 75 kN

La condizione di Codice della Strada con limitazione 3,5 t, che può definirsi come da “soli autoveicoli” o di “mezzi leggerissimi” si schematizza mediante un carico da 2,5 kN/m² lungo l’intera carreggiata o comunque nelle posizioni più sfavorevoli. Tale caso è definito anche come “Transitabilità agli autoveicoli”.

Gli schemi si estendono a tutte le corsie aperte, assumendo una larghezza della corsia pari a 3.0 m, coerentemente con le Norme Tecniche attualmente vigenti. Inoltre, nel caso che non vi siano delimitazioni fisiche insuperabili, essi si estendono alle corsie di emergenza ed alle eventuali corsie di accesso. Occorre disporre i carichi lungo entrambe le carreggiate dei due sensi di marcia e comunque nelle posizioni più sfavorevoli.

A tali carichi corrispondono dei fattori parziali che portano ai valori di progetto con sicurezza adeguata. Nella valutazione di tali fattori subentra con decisione il problema dell’incertezza del transito di mezzi di carico superiore ed in contrasto con il Codice della Strada, come descritto al § 6.3.3.4.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.2.2.1

Per quanto riguarda le verifiche di TRANSITABILITA’ (2), si intende che i carichi proposti nelle figure 6.3.1/2/3, sostituiscono lo schema di carico 1 del punto 5.1.3.3.5 delle NTC. Si intende quindi che i carichi vengono trasferiti secondo le impronte dello schema 1.

I carichi si distribuiscono in direzione trasversale come previsto dalle NTC, occupando le corsie convenzionali disponibili e disponendo un carico di 2.5kN/mq nella parte rimanente.

Il coefficiente dinamico non si applica nel caso di corsie completamente occupate da carichi da CdS perché la combinazione non è compatibile con il movimento veloce (traffico congestionato).

Nel solo caso di carico da CdS limitato a 44t, è consentito applicare i coefficienti di riduzione 0.5 alla seconda corsia e 0.35 alle successive. In questo caso è necessario introdurre il coefficiente dinamico.

Nel caso in cui nell’opera oggetto di studio siano installate tecnologie che controllano i sorpassi dei mezzi pesanti, ed il loro passaggio e transito in un’altra corsia, diversa da quella per veicoli lenti, sia vietato, controllato e sanzionato utilizzando tali tecnologie, è possibile diversificare le stese di carico per le diverse corsie convenzionali.

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0.10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.2.2.2

Nell’equazione per la determinazione dell’azione di frenamento o accelerazione, il termine [carico distribuito CdS] è da intendersi come carico distribuito su una lunghezza, ovvero come carico uniformemente distribuito su un’area (in accordo allo schema di carico adottato) moltiplicato per la larghezza della corsia. Tale azione sostituisce l’espressione di q3 indicata al punto § 5.1.3.5 delle NTC.

Nel caso in cui la verifica nei confronti dell’azione di frenamento o accelerazione risulti particolarmente vincolante, specialmente per quanto riguarda i mezzi pesanti, è possibile affrontare questa problematica imponendo, sempre garantendone l’applicazione e l’individuazione e sanzionamento delle violazioni, con adeguate tecnologie, un opportuno distanziamento fra tali mezzi.

L’impronta di carico di ciascun asse si distribuisce, in termini di pressione, secondo le indicazioni geometriche delle NTC.

Laddove ai fini delle verifiche locali sia più gravoso considerare un mezzo singolo (rappresentato con assi tandem nella configurazione di cui agli schemi sopra riportati se trattasi di mezzo da 440 kN o 75 kN, con carico distribuito da 2,5 kN/mq altrimenti), oppure questo in transito generi condizioni più gravose della stesa di carico sopra definita quale rappresentativa della condizione di traffico congestionato, si applica il relativo coefficiente di incremento dinamico \emptyset , per il quale si può fare riferimento al D.M. 04 maggio 1990:

$$\emptyset = 1.4 - \frac{L - 10}{150}$$

con le limitazioni $\emptyset = 1,4$ per $L \leq 10$ m, $\emptyset = 1$ per $L \geq 70$ m.

Per L si assume:

- (a) per le travi di una sola campata: la luce di calcolo;
- (b) per le travi continue: la luce di calcolo della campata su cui è applicato il carico;
- (c) per le mensole: l'aggetto, aumentato della luce di calcolo della eventuale trave semplice sostenuta dalla mensola stessa;
- (d) per gli elementi secondari d'impalcato: la loro luce di calcolo.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.2.2.bis

Ai fini della definizione dello schema di carico da adottare per le verifiche locali, le Linee Guida indicano, come riferimenti per rappresentare il mezzo singolo, gli schemi geometrici relativi a mezzi da 440 kN (Fig. 6.1) e 75 kN (Fig. 6.3). Si chiarisce che la stessa modalità di rappresentazione va adottata, analogamente, per i mezzi da 260 kN (Fig. 6.2).

Inoltre, relativamente alla condizione di "mezzo singolo in transito" da considerare qualora questa generi condizioni più gravose della stesa di carico rappresentativa della condizione di "traffico congestionato" (cfr. I.O. 6.3.2.2.1), si specifica che essa non va estesa alle eventuali corsie oltre la prima.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.2.2.3

Le verifiche delle strutture secondarie di impalcato indicate al punto 5.1.3.3.6 delle NTC richiedono la definizione degli schemi di carico 1, 2, 3, 4. Lo schema di carico 2 conserva lo schema geometrico riportato nelle NTC e assume il valore del carico dell'asse più pesante, amplificato del coefficiente dinamico corrispondente allo schema di calcolo della verifica locale, utilizzando l'espressione adottata nel DM 04 maggio 1990. Lo schema di carico 3 è valutato con riferimento all'asse più pesante, considerando una sola ruota con l'impronta indicata nelle NTC. Lo schema 4 è quello indicato nelle NTC.

6.3.2.3 Azione sismica

Per quanto concerne le azioni sismiche di progetto, si fa riferimento a quanto specificatamente riportato nelle Norme Tecniche vigenti.

Per quanto riguarda la valutazione dell'azione sismica, al punto C8.8.1 della Circolare n. 7 del 21/01/2019 è indicato quanto segue:

AZIONE SISMICA Si fa riferimento a quanto previsto nel § 3 delle NTC.

Inoltre, al punto C8.5.5 della Circolare è precisato che:

C8.5.5 AZIONI Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate tenendo conto di tutte le azioni presenti, sia non sismiche, sia sismiche. Con riferimento a quanto espresso nel § 8.5 delle NTC si precisa che, nel caso di combinazioni di carico che includano l'azione sismica, ai fini della determinazione dell'entità massima delle azioni sopportabili dalla struttura si considerano i carichi permanenti effettivamente riscontrati e quelli variabili previsti dalle NTC. L'azione sismica è definita, per i diversi stati limite, al § 3.2 delle NTC, tenuto conto del periodo di riferimento definito al § 2.4 delle NTC (v. anche § C8.3). Per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni, valgono i criteri di cui al § 2.5.3 delle NTC. Le diverse componenti dell'azione sismica sono combinate con i criteri riportati al § 7.3.5 delle NTC.

6.3.2.4 Azioni idrodinamiche e verifica della stabilità dei versanti

Qualora ricorrano le condizioni "f" o "g" (§ 0) o indicate dalla Norma al punto 8.3 (vedi § 6.1.4), per quanto concerne le azioni idrodinamiche agenti sulle pile, si fa riferimento a quanto specificatamente riportato nelle Norme Tecniche vigenti (§ 5.1.3.8).

Analogamente, le valutazioni della stabilità dei versanti e delle possibili azioni indotte sull'intera struttura o parti di essa sono definite sulla base delle modellazioni geologiche e geotecniche svolte secondo quanto indicato dal capitolo 6.3 delle NTC e dalla relativa Circolare.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.2.4.1

Quando la verifica riguardi i fenomeni di sormonto l'inquadrimento dell'ambito idraulico dovrà prevedere uno studio di compatibilità idraulica secondo lo schema previsto al paragrafo C5.1.2.3 della Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

6.3.2.5 Altre azioni variabili

Si fa riferimento a quanto specificatamente previsto dalle Norme Tecniche vigenti. Ricordando che in passato si sono utilizzati metodi e modelli di calcolo semplificati in assenza dei mezzi informatici odierni, occorre considerare, oltre agli stati di sollecitazione ottenibili dall'analisi lineare, anche gli stati di sollecitazione "secondari", quali quelli indotti, per esempio, dalle variazioni termiche negli elementi verticali di collegamento fra impalcato ed arco nei ponti tipo Maillart, che in alcune strutture iperstatiche possono risultare particolarmente gravosi. È compito del progettista valutare adeguatamente tali azioni considerando anche che l'insorgenza di fenomeni non lineari può talvolta ridurre i suddetti effetti.

6.3.3 VALORI DI PROGETTO DELLE AZIONI

Per i livelli di analisi Adeguamento, Operatività, Transitabilità, le combinazioni di carico da impiegare per l'analisi statica e sismica sono definite, per i diversi stati limite, dalle Norme Tecniche.

In particolare per la determinazione della domanda agli stati limite ultimi è impiegata la combinazione fondamentale (1), per la domanda agli stati limite di esercizio la combinazione caratteristica (2), per la domanda sismica la combinazione (3).

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + (\dots) \quad (1)$$

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + (\dots) \quad (2)$$

$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + (\dots) \quad (3)$$

I contributi di carico sono quelli definiti in precedenza. Particolare attenzione deve essere posta sul valore delle azioni da traffico da considerare, che dipende dal livello di analisi che si sta eseguendo.

Per i coefficienti di combinazione Ψ si rimanda alla tabella 5.1.VI del capitolo 5 delle Norme Tecniche.

I coefficienti parziali di sicurezza γ sono forniti nelle relative tabelle ai § 6.3.3.2, § 6.3.3.3, § 6.3.3.4 e § 6.3.4.1 delle presenti Linee Guida, tenendo conto della progressiva riduzione delle incertezze ottenuta da una corretta esecuzione della campagna conoscitiva e dell'effettivo periodo di riferimento, t_{ref} , considerato nelle verifiche.

6.3.3.1 Fattori parziali di sicurezza delle azioni

Le Norme Tecniche prevedono l'applicazione del metodo semiprobabilistico agli stati limite per la valutazione della sicurezza strutturale, basato sull'impiego di fattori parziali di sicurezza. È espressamente previsto, inoltre, che per opere di particolare importanza, si possano adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità. I principi per la valutazione dei valori dei fattori per le strutture di calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso si possono ricercare in modo affidabile utilizzando l'EN 1990 "Eurocode 0, Basis of structural and geotechnical design". Vi sono poi altri documenti di elevato valore tecnico-scientifico, nel caso di ponti di calcestruzzo armato ordinario o precompresso, come il Codice Modello fib e negli ulteriori documenti fib che, come noto, costituiscono la base dell'EN 1992 "Eurocode 2 Design of concrete structures". In particolare, allo stato dell'arte, essenziale documento di riferimento è il Bollettino fib80 "Partial factor methods for existing concrete structures".

Nelle presenti Linee Guida è utilizzato il metodo *Adjusted Partial Factor Method* (APFM) per la calibrazione di coefficienti parziali di sicurezza in funzione dell'indice di affidabilità, β , a sua volta correlato alla probabilità di collasso nel tempo di riferimento t_{ref} .

I ponti, in generale, ricadono nella Classe di Conseguenza 3, CC3, secondo l'EN 1990. In funzione delle caratteristiche della rete stradale, è possibile assegnare all'opera la Classe di Conseguenza CC2 o CC1, come riportato nella scheda di censimento di cui all'Allegato A, dandone necessaria comunicazione alle Autorità Vigilanti ed alle banche dati istituzionali regionali e nazionali. Nel testo che segue sono riportati i valori dei fattori parziali da impiegare nel caso di classe di conseguenza CC3. Nel caso di diversa classe di conseguenza dell'opera, si fa riferimento ai valori dei fattori parziali riportati nell'Appendice A.

6.3.3.2 Fattori parziali di sicurezza dei carichi permanenti

Nel caso di verifiche di transitabilità e operatività, si possono assumere i valori dei fattori parziali dei carichi permanenti riportati in

Tabella 6.2. Essi sono riferiti a tre diverse condizioni:

- 1) Condizioni standard, assumendo un coefficiente di variazione dei carichi pari a 0.10;
- 2) Con accurato controllo statistico di materiali e geometrie, assumendo un coefficiente di variazione dei carichi ridotto e pari a 0.05;
- 3) Come la 2) e con abbattimento delle incertezze di modellazione.

Tabella 6.2– Fattori parziali di sicurezza per i carichi permanenti, γ_G , per verifiche di transitabilità e operatività

CLASSE DI CONSEGUENZA	(1) CONDIZIONI STANDARD	(2) CON ACCURATO CONTROLLO STATISTICO DI MATERIALI E GEOMETRIA E COV<0,05	(3) COME (2) E CON ABBATTIMENTO INCERTEZZE DI MODELLO (§ 6.3.3.5)
CC3	1.26	1.16	1.10

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.3.2.1

Il coefficiente di riduzione 1.16 associato alla condizione (2) può essere adottato a seguito di un controllo statistico dei valori delle azioni permanenti finalizzato a stimare un valore caratteristico da utilizzare per la valutazione di sicurezza e controllare che il coefficiente di variazione sia inferiore a 0.05. Si può procedere in analogia con quanto proposto al successivo punto § 6.3.4 (caratteristiche meccaniche dei materiali). Il valore caratteristico relativo al 95° percentile viene stimato mediante l'espressione

$$x_{0.95} = \exp(\bar{\mu}_{0.16} + 1.66\bar{\sigma})$$

dove x indica la grandezza in esame, descrittiva del carico permanente (es. peso proprio della soletta gettata in opera o carichi associati alla pavimentazione stradale), $\bar{\mu}_{0.16}$ e $\bar{\sigma}$ sono definite come al punto § 6.3.4 in funzione del numero delle misurazioni.

Il COV può essere stimato mediante $\bar{\sigma}$.

Nel caso di verifica di ponte ADEGUATO, i valori dei fattori parziali da impiegare sono riportati in Tabella 6.3, per le tre condizioni sopra citate.

Tabella 6.3– Fattori parziali di sicurezza per i carichi permanenti, γ_G , per verifiche di adeguamento

CLASSE DI CONSEGUENZA	(1) CONDIZIONI STANDARD	(2) CON ACCURATO CONTROLLO STATISTICO DI MATERIALI E GEOMETRIA E COV<0,05	(3) COME (2) E CON ABBATTIMENTO INCERTEZZE DI MODELLO (§ 6.3.3.5)
CC3	1.35	1.25	1.20

Tutte le suddette assunzioni sono pienamente conformi al disposto delle Norme Tecniche che, per le costruzioni esistenti, al § 8.5.5 recitano: "Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a γ_G valori esplicitamente motivati".

Nel caso di classe di conseguenza diversa dalla CC3, occorre fare riferimento alla Tabella A.2 dell'Appendice.

6.3.3.3 Fattori parziali di sicurezza delle azioni variabili, schemi di traffico da Norme Tecniche

Rimandando al *Bollettino fib80* per le espressioni esplicite per il calcolo dei coefficienti, si riportano, nelle Tabella 6.4 e Tabella 6.5, i valori dei fattori parziali dei carichi da traffico e dell'azione del vento rispettivamente, assumendo alternativamente t_{ref} pari a 5

anni e a 30 anni e classe di conseguenza CC3. Si rimanda alla *Tabella A.3* e *Tabella A.4* nell'Appendice A per le altre classi di conseguenza.

Tabella 6.4– Fattori parziali di sicurezza considerando come azioni principali le azioni variabili da traffico

Classe di conseguenza	Tempo di riferimento tref	Fattori parziali per le azioni variabili da traffico, γ_Q
CC3	5 anni (ponte TRANSITABILE, § 6.1.5.3)	1.20
	30 anni (ponte OPERATIVO, § 6.1.5.2)	1.20

Tabella 6.5 – Fattori parziali di sicurezza considerando come azione principale l'azione del vento

Classe di conseguenza	Tempo di riferimento tref	Fattori parziali per l'azione del vento, γ_Q
CC3	5 anni (ponte TRANSITABILE, § 6.1.5.3)	1.26
	30 anni (ponte OPERATIVO, § 6.1.5.2)	1.50

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.3.3.1

In analogia alle NTC (Tab. 5.1.V) si possono adottare i coefficienti indicati per il vento anche per le altre azioni variabili.

Per le altre azioni (distorsioni, presollecitazione e cedimenti) si farà sempre riferimento ai valori assegnati dalle NTC.

6.3.3.4 Fattori parziali di sicurezza delle azioni variabili, schemi di traffico da Codice della Strada

La valutazione dei fattori parziali da utilizzare per i carichi da codice della strada è estremamente complessa, non disponendosi di studi in merito.

Certamente si può affermare che in nessun caso è possibile utilizzare le modalità di verifica da Transitabilità semplicemente ponendo dei divieti di circolazione senza adeguati controlli sulle infrazioni.

Ciò premesso, si distinguono tre condizioni:

- Livello 1): il controllo del superamento del carico del peso da parte dei mezzi è effettuato a campione, su base documentale o di pesatura diretta, mediante una pianificazione sistematica nel tempo;
- Livello 2): il controllo del superamento del carico da parte dei mezzi è effettuato in modo sistematico e continuo nel tempo, su base documentale o di pesatura diretta, con procedure per il blocco dei mezzi in caso di eccesso di carico e invio su altra viabilità;
- Livello 3): analogo al Livello 2) ma utilizzando pesatura dei mezzi e blocco garantito degli stessi in caso di eccesso di carico, da parte del gestore dei ponti e invio su altra viabilità.

Per i tre casi considerati è sicuramente prevedibile un coefficiente di variazione e una probabilità di superamento, in 5 anni, molto diversa cosicché occorre assumere fattori parziali diversificati per i modelli di carico da Codice della strada definiti in § 6.3.2.2:

- Livello 1) : $\gamma_{CdS,1} = 1,60$
- Livello 2) : $\gamma_{CdS,2} = 1,35$
- Livello 3) : $\gamma_{CdS,3} = 1,10$

Resta inteso che i carichi da CdS vanno disposti in tutte le corsie aperte al traffico senza alcuna limitazione, nelle condizioni più sfavorevoli di posizionamento.

Particolare attenzione deve essere fatta nel caso di ponti vicini a sorgenti di carichi elevati, quali acciaierie, centri di trasformazioni acciai, cave, porti.

6.3.3.5 Riduzione delle incertezze di modellazione

Relativamente ai coefficienti di sicurezza dei carichi permanenti, nel caso di strutture esistenti, in funzione del livello di approfondimento delle indagini condotte in termini di misure geometriche, caratteristiche dei materiali, modellazione strutturale, eventuali analisi di identificazione dinamica, riscontro con prove di carico di progetto, si può ottenere una riduzione significativa delle incertezze di modello e, quindi, un'ulteriore riduzione del fattore parziale, che dunque assume il seguente valore:

$$\gamma_G = 1.10$$

corrispondente alla condizione (3) riportata in

Tabella 6.2 ossia nelle condizioni in cui si dispone di un accurato controllo statistico della geometria della struttura e delle parti non strutturali e delle densità dei materiali. In tal caso la geometria delle sezioni trasversali è da rilevare con la precisione, ossia entro la tolleranza di $\pm 5\text{mm}$, le distanze tra gli appoggi con precisione di $\pm 20\text{mm}$, ed i pesi unitari dei materiali misurati con pesature di campioni diretti estratti per carotaggio.

I fattori parziali di sicurezza, infatti, permettono di tener conto in maniera implicita delle incertezze legate alla modellazione dei carichi e alla loro variabilità, nonché delle incertezze associate alla modellazione degli effetti delle azioni. Quest'ultima è connessa al passaggio dalle azioni esterne alle sollecitazioni da utilizzare nelle verifiche locali.

Data la rilevanza delle strutture da ponte e la necessità di conoscenza del comportamento reale della struttura in vista del monitoraggio della stessa, è consigliata la scelta e l'aggiornamento del modello complessivo strutturale anche mediante confronti con prove statiche ed eventualmente con analisi di identificazione dinamica. È suggerito, specialmente nel caso di strutture da ponte dal comportamento complesso, la riduzione dell'incertezza di modello strutturale.

In altri termini, l'identificazione dinamica, in unione alla riproduzione delle prove di collaudo dell'epoca, ove disponibili, o con prove di carico progettate ad hoc, consentono di calibrare opportunamente i modelli numerici alla base delle calcolazioni, ridurre le incertezze di modello nella definizione di coefficienti di sicurezza parziali e permettere un monitoraggio affidabile (si veda per un'estensiva descrizione delle prove statiche e dinamiche e dei sistemi di monitoraggio i § 7.5 e § 7.6). Le prove di collaudo statico e prove eventualmente progettate ad hoc hanno il vantaggio di riprodurre stati tensionali, per quanto in regime di elasticità, più elevati rispetto alle condizioni ordinarie della struttura, riconducibili ad una combinazione rara dei carichi variabili. L'analisi modale sperimentale basata sull'applicazione di un input noto alla struttura risulta particolarmente onerosa nel caso di grosse strutture quali i ponti. In alternativa, prove di identificazione dinamica in condizioni di input incognito (Analisi Modale Operativa - OMA) quale il rumore ambientale, consentono spesso di ottenere informazioni significative sul comportamento strutturale del ponte in esame.

I risultati dell'analisi modale sono finalizzati alla calibrazione del modello (c.d. "model updating"), oltre che alla eventuale individuazione di danni o malfunzionamenti strutturali. L'analisi modale operativa consente di sfruttare il rumore ambientale per l'identificazione strutturale evitando, così, il ricorso ad attrezzature particolari (vibroline, martelli strumentati, eccitatori oleodinamici o elettrodinamici) che eccitino direttamente la struttura. In tal modo, i parametri modali che si ottengono sono rappresentativi del comportamento dinamico della struttura nelle sue reali condizioni di utilizzo, ancorché in presenza di bassi stati tensio-deformativi. La prova può essere condotta in assenza di traffico oppure, talvolta, in presenza di mezzi viaggianti che inducono carichi di esercizio di entità ridotta. L'identificazione dinamica ha le seguenti finalità:

- consentire la calibrazione e successiva validazione del modello numerico sulla base delle forme modali e delle frequenze di vibrazione sperimentali;
- stimare i livelli di smorzamento della struttura e valutarne l'entità rispetto a eventuali scenari di danneggiamento.

Nella procedura di calibrazione del modello può essere necessario introdurre un modulo di elasticità dinamico del calcestruzzo più elevato di quello statico, che sia rappresentativo di un comportamento puramente elastico lineare per bassi livelli tensionali. In presenza di opere con schemi strutturali ripetitivi, tali prove possono essere eseguite su un numero ridotto di elementi che possano ritenersi rappresentative del comportamento della struttura. Qualora il modello strutturale sia realizzato interagendo con la prova di identificazione dinamica, fino a trovarsi con approssimazione da prefissare tanto con le frequenze proprie quanto con le forme modali più significative, e contemporaneamente il modello strutturale riproduca con approssimazione prefissata i risultati in termini di spostamenti e più in generale le deformate ottenute da prove di collaudo o da prove di carico progettate ad hoc, allora si può ritenere di aver portato a livelli trascurabili il coefficiente di incertezza di modello, in genere, incorporato nei fattori parziali delle azioni.

6.3.4 VALORI DI PROGETTO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

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 .

La grandezza statistica, f_k o f_m , per le caratteristiche meccaniche da considerare non è chiarita completamente dalle Norme Tecniche; dal testo delle norme, riportato di seguito per chiarezza espositiva, si evince, senza dubbio, come non sia possibile far riferimento al valore medio, ma si debba considerare "l'entità della dispersione", facendo ad esempio riferimento al valore caratteristico che si ottiene dall'analisi sperimentale con prove distruttive (ad esempio carote per il calcestruzzo) e non distruttive.

8.5.3. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di costruzioni sottoposte a tutela, ai sensi del D.Lgs. 42/2004, di beni di interesse storico-artistico o storico-documentale o inseriti in aggregati storici e nel recupero di centri storici o di insediamenti storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione. I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, tenendo motivatamente conto dell'entità delle dispersioni, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Per le prove di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n.7617/STC o eventuali successive modifiche o interazioni, il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove stesse devono essere effettuate a cura di un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001.

In altro punto della Circolare è riportato quanto segue:

C 8.5.4.2 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO ARMATO O DI ACCIAIO "I fattori di confidenza, determinati in funzione del livello di conoscenza acquisito, vengono applicati ai valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato (in genere si assume un intervallo di confidenza pari al 95%)."

Tale affermazione fa ritenere che il riferimento vada fatto al valor medio della resistenza; ciò vale anche per analoga affermazione del punto C 8.7.2.2 della Circolare n. 7 del 21/01/2019 mentre le Norme Tecniche chiariscono come si debba motivatamente tenere conto dell'entità delle dispersioni.

Si sottolinea inoltre che la normativa italiana considera i fattori FC, che incorporano vari tipi di incertezze comprese quelle sulla disposizione delle armature e sui dettagli costruttivi. Il sistema degli Eurocodici considera invece unicamente i fattori parziali dei materiali che incorporano le incertezze di modello e la variabilità dei materiali in maniera forfettaria. È dunque necessario ottenere una sintesi dei due diversi approcci.

Si ritiene che un'adeguata interpretazione rispettosa delle Norme Tecniche e della Circolare, senza essere contraddittoria della filosofia degli Eurocodici, sia di far riferimento al valore medio diviso per il fattore di confidenza e il fattore parziale senza però mai eccedere il valore caratteristico diviso il fattore di confidenza, sì da tenere conto della dispersione.

In altri termini si sceglie il minimo fra i due seguenti valori:

$$f_d = \min \left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

Si osservi che nei ponti, strutture spesso isostatiche o poco iperstatiche, il riferimento al valore medio f_m come valore di calcolo sarebbe certamente pericoloso, anche in considerazione del fatto che nel caso di crisi per carichi gravitazionali (al contrario di quanto accade nel caso di azioni cicliche proprie del sisma) la distinzione fra rottura fragile e rottura duttile è poco rilevante ai fini della salvezza delle vite umane. Si consideri anche che tendenzialmente nei ponti si deve raggiungere il livello di confidenza 3 e dunque FC risulta spesso pari all'unità.

Per quanto concerne la stima del valore f_k , un'adeguata valutazione conservativa della resistenza caratteristica basata su un numero limitato di campioni n si effettua con la modalità di seguito descritta. Nell'ipotesi di distribuzione log-normale e tenendo conto dell'incertezza associata alla stima della media campionaria, dato il campione casuale $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ della grandezza di interesse (resistenza a compressione del calcestruzzo, tensione di snervamento e di rottura dell'acciaio dolce e dell'acciaio armonico), ne sono calcolate media e deviazione standard campionarie dei logaritmi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

Avendo sottratto alla media stimata l'errore standard dello stimatore, si ottiene una stima del sedicesimo percentile della distribuzione media campionaria:

$$\bar{\mu}_{0.16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

da cui calcolare il valore caratteristico, assumendo una distribuzione log-normale, come segue:

$$\hat{x}_{0.05} = e^{\bar{\mu}_{0.16} - 1.64 \bar{\sigma}}$$

Per la valutazione completa delle resistenze di calcolo, i valori dei Fattori di Confidenza FC sono analizzati nel § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, mentre i valori dei fattori parziali di sicurezza γ_M sono forniti nel § 6.3.4.1.

6.3.4.1 Fattori parziali di sicurezza

Nel caso di verifiche di transitabilità e operatività, analogamente a quanto visto per i fattori parziali di sicurezza lato azioni, anche i coefficienti parziali di sicurezza relativi alle caratteristiche dei materiali da impiegare nella valutazione di sicurezza di strutture esistenti possono essere ridotti.

Tenendo conto dei vari tipi di incertezze relativi alle caratteristiche dei materiali, ovvero incertezze geometriche e di modellazione e incertezze dovute alla distribuzione statistica delle caratteristiche dei materiali, i valori dei coefficienti di sicurezza da applicare alle caratteristiche di resistenza dei materiali, nel caso di classe di conseguenza CC3, sono riportati in Tabella 6.6. Nel caso di classi di conseguenza diverse dalla CC3, si rimanda alla *Tabella A.5* dell'Appendice per i valori dei fattori parziali da impiegare.

Tabella 6.6– Fattori parziali di sicurezza per le caratteristiche di resistenza dei materiali da cemento armato

Classe di conseguenza	Materiale	γ_M
CC3	Calcestruzzo	$\gamma_c = 1.26$
	Acciaio di rinforzo da c.a.	$\gamma_s = 1.10$

Si ritiene che il valore $\gamma_s = 1,10$ valutato per l'acciaio ordinario da cemento armato possa essere utilizzato, in mancanza di valutazioni più accurate, anche per l'acciaio da precompressione.

Per quanto concerne le strutture in carpenteria metallica, il valore di calcolo delle Norme Tecniche è pari a $\gamma_a = 1,05$ e non si ritiene che tale valore possa essere ulteriormente ridotto.

Per quanto riguarda invece i connettori acciaio-calcestruzzo che caratterizzano i ponti in struttura composta acciaio calcestruzzo, il valore di calcolo delle Norme Tecniche è pari a $\gamma_v = 1,25$ che all'incirca è la media aritmetica dei rispettivi valori relativi agli acciai da carpenteria metallica e di rinforzo per strutture di calcestruzzo: ciò è logico considerando che il meccanismo complessivamente richiede l'interazione dei due meccanismi.

Pertanto, considerando i valori di *Tabella 6.6* e quindi i valori da considerare per condizioni di Operatività e Transitabilità, si ottiene il valore da assumere pari a:

$$\gamma_v = \sqrt{\gamma_a \cdot \gamma_c} = \sqrt{1.05 \cdot 1.26} = 1.15$$

Tabella 6.7– Fattori parziali di sicurezza per le caratteristiche di resistenza dei materiali, condizioni di Operatività e Transitabilità

Materiale	Fattore parziale
Calcestruzzo	$\gamma_c = 1.26$
Acciaio da c.a. e c.a.p.	$\gamma_s = 1.10$
Acciaio da carpenteria	$\gamma_a = 1.05$
Connettori Acciaio-calcestruzzo	$\gamma_v = 1.15$

I valori proposti sono da ritenersi degli utili riferimenti per l'applicazione alle strutture di calcestruzzo armato ordinario e precompresso, acciaio e composte acciaio calcestruzzo. Per altre tipologie di strutture occorre evidentemente eseguire apposite valutazioni sui coefficienti di variazione relativi alle incertezze di modellazione, alle incertezze geometriche ed alla distribuzione statistica delle proprietà dei materiali. Non si ritiene che per le verifiche di Transitabilità si possa scendere al di sotto di tali valori che dunque vanno adottati sia nei calcoli di Operatività che di Transitabilità.

6.3.5 VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza si eseguono secondo le indicazioni delle Norme Tecniche vigenti. Il livello di sicurezza è quantificato attraverso il rapporto ζ_v e il rapporto $\zeta_{E'}$ secondo quanto discusso al § 6.1.5.

Occorre porre particolare attenzione, vista la criticità delle opere in esame, sulle verifiche del sistema di fondazione, sulle verifiche locali e sulle verifiche agli Stati Limite di Esercizio.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.5.1

Per quanto riguarda le verifiche globali, si ricorda che, per gli elementi principali, è possibile fare riferimento a modelli di capacità proposti da normative e documenti di comprovata validità, come ad esempio quelli proposti dal fib Model Code per la valutazione della resistenza a taglio delle travi in calcestruzzo armato.

6.3.5.1 Verifica del sistema di fondazione

La Norme Tecniche regolano con chiarezza i casi in cui non è necessario effettuare la verifica del sistema di fondazione mediante quanto riportato al punto 8.3:

“Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- *nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;*
- *siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;*
- *siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.*

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.”

La Circolare nel punto analogo precisa che:

“Nella valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti va vagliata l'opportunità di procedere ad una verifica della stabilità geomorfologica del sito e del sistema terreno-fondazione, ferma restando l'obbligatorietà di quest'ultima verifica al ricorrere anche di una sola delle condizioni elencate al § 8.3 delle NTC. Nella relazione indicata dalla norma, il tecnico dovrà esplicitare che non sussistono le condizioni indicate al § 8.3 delle NTC tenendo ovviamente conto anche della gravità del dissesto (in atto o prodottosi in passato).”

6.3.5.2 Problemi di verifica locale

Talune volte le formule previste dalle Norme Tecniche per le verifiche locali, ad esempio per la verifica a taglio delle solette di c.a., sembrano eccessivamente cautelative. Tale cautela è un problema marginale per la nuova progettazione, mentre diventa importantissima per le costruzioni esistenti in quanto può costringere ad interventi tecnicamente molto invasivi ed economicamente molto costosi, senza in realtà essere davvero necessari. Inoltre metodi di calcolo più sofisticati e meno convenzionali sono suggeriti per studiare situazioni complesse in cui formule semplificate e convenzionali potrebbero portare a risultati impropri.

In particolare per la verifica a taglio negli elementi in cemento armato poco armati o non armati, in alternativa alle formule delle NTC, è consentito l'uso della seguente espressione:

$$V_{Rd} = \frac{0.3\sqrt{f_{ck}}b_w d}{\gamma_c (1 + 0.0022d)}$$

dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

Tale formulazione è una semplificazione conservativa delle SIA 262.

Per quanto concerne il taglio nel cemento armato precompresso, si può valutare con la formulazione (4.1.24) delle NTC 2018 dove σ_{cp} è intesa come l'intera tensione media di precompressione nella sezione considerata.

Nelle verifiche occorre considerare le eventuali carenze dovute a problemi di durabilità, in particolare, l'eventuale riduzione della sezione dovuta a degrado o dilavamento del calcestruzzo superficiale che può comportare la riduzione della sezione utile, l'eventuale diminuzione di area di acciaio dovuta alla corrosione, l'eventuale assenza o carenza di staffe causate dalla corrosione delle stesse che in genere hanno copriferro ridotto o l'eventuale inefficacia delle staffe dovute alla corrosione degli spigoli d'armatura. Occorre porre attenzione agli sbalzi laterali dei ponti, particolarmente esposti agli effetti del degrado; è bene che essi siano verificati per gli effetti di urto, svio e azione delle barriere di sicurezza nelle condizioni più sfavorevoli di carichi previsti dalla verifica di sicurezza prescelta.

6.3.5.3 Situazioni che richiedono lo svolgimento delle verifiche di esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio sono regolate dal punto 8.3 delle Norme Tecniche:

“La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.”

Si deve tuttavia rilevare che, per strutture di notevole età, ad esempio di vita superiore a 30 anni e cioè circa 10.000 giorni, tutti gli effetti di viscosità e ritiro del calcestruzzo nonché rilassamento dell'acciaio armonico si sono virtualmente manifestati; inoltre lo sviluppo di problemi di durabilità è facilmente verificabile (ad esempio, per le strutture di c.a., con prove di carbonatazione e verifica di presenza di solfati e cloruri nel calcestruzzo). Le verifiche dei valori delle tensioni, delle deformazioni e dell'ampiezza delle fessure sono in genere superflue, potendosi vedere e constatare direttamente gli effetti mediante misure ad hoc sulla struttura reale, a meno che le condizioni ambientali non siano significativamente variate (peggiorate) durante la vita (o perlomeno l'ultima parte della vita) della struttura.

Quando si proceda all'adeguamento del ponte, occorre evidentemente effettuare le verifiche agli SLE tenendo in conto come gli effetti reologici si siano, in parte o in maggioranza, già sviluppati nel corso della vita della struttura.

Si sottolinea, in ogni caso, che la disponibilità dell'opera dopo anni di utilizzo, è una grande fonte di informazioni sugli effetti nel tempo. Il tecnico può, in particolare, tenere conto nella costruzione del modello strutturale della valutazione dei reali valori delle frecce e delle deformate così come delle altre possibili valutazioni utili allo scopo. Si ricorda infine come sia sempre necessario assicurare un corretto smaltimento delle acque piovane che costituiscono una delle principali cause del degrado strutturale delle opere da ponte. A tal riguardo, può farsi utile riferimento alle istruzioni C.N.R. "Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale. Ponti e viadotti" (B.U. 165. 1993).

6.3.5.4 Verifiche di sicurezza per il transito di mezzi eccezionali

Le verifiche di sicurezza per il transito di mezzi eccezionali si effettuano con le regole delle presenti Linee Guida, considerando i fattori parziali per azioni e materiali con un tempo di riferimento pari a 5 anni (condizione di transitabilità). In particolare, in presenza di certezza del carico del mezzo, il coefficiente parziale relativo al carico verticale provocato dal mezzo eccezionale γ_Q può essere assunto pari a 1,10. Nelle verifiche si deve tenere conto dell'effettiva distribuzione dei pesi fra i diversi assi.

6.3.5.5 Verifica in sito della sicurezza per transitabilità temporanea

Nel caso in cui su di un ponte o viadotto siano riscontrate difettosità strutturali che, da un'analisi di Livello 2, abbiano comportato una Classe di Attenzione Alta dell'opera e, per gravi motivi di viabilità sia necessario verificare la possibilità di una transitabilità provvisoria nelle more di una verifica di transitabilità ai sensi del § 6.1.5.3 delle presenti Linee Guida, si può procedere nel seguente modo.

Si effettua una prova di carico sul ponte/viadotto, applicando i carichi da Codice della Strada del § 6.3.2.2 amplificati dal valore appropriato γ_{Cds} prescelto fra i tre livelli del § 6.3.3.4 e dal fattore parziale del materiale γ_M , considerando il valore più alto fra quelli relativi ai materiali costituenti la struttura (§ 6.3.4.1).

La prova deve restituire un aumento sostanzialmente lineare degli effetti all'aumentare dei carichi, un valore degli spostamenti residui trascurabile allo scarico, ossia *minori del 5% dello spostamento massimo*, e non deve mostrare alcun aumento della difettosità riscontrata.

La prova si effettua con adeguata gradualità e in piena sicurezza per operatori ed utenti. Occorre valutare con attenzione il carico massimo di prova, il quale deve essere tale da non indurre danneggiamenti irreversibili alla struttura.

Indicando con $R_{el,exp}$ la soglia elastica sperimentale della struttura, e con S_{Cds} le sollecitazioni indotte dai carichi da Codice della Strada, tale prova corrisponde a verificare che sia:

$$\gamma_{Cds} \cdot S_{Cds} < \frac{R_{el,exp}}{\max(\gamma_M)}$$

La verifica di transitabilità di cui al § 6.1.5.3 si esegue entro un limite massimo di 60 giorni dall'esecuzione della prova e deve confermare la valutazione di transitabilità temporanea; diversamente occorre valutare ed adottare gli idonei provvedimenti sulla circolazione del ponte, compresa, se del caso, la chiusura al traffico del ponte/viadotto.

La prova non si esegue nei casi in cui la difettosità può essere collegata all'insorgere di meccanismi fragili e nei casi di elevata corrosione di cavi di precompressione o parti metalliche principali.

La prova è preceduta da un attento esame visivo che escluda possibili dissesti degli apparecchi d'appoggio che confermi il non aggravamento delle condizioni riscontrate dalle ispezioni precedenti.

Occorre segnalare immediatamente la Transitabilità temporanea e la tempistica alle banche dati istituzionali regionali e nazionali.

ISTRUZIONE OPERATIVA 6.3.5.5.1

La prova di carico fornisce informazioni relative al campo elastico del sistema strutturale nel suo complesso e non può dare informazioni relativamente al margine che esiste tra carico di prova e carico di collasso. Per le nuove costruzioni tale margine può essere ragionevolmente stimato e la prova di carico viene effettuata applicando i carichi che determinano le massime sollecitazioni di esercizio (combinazione rara) ottenute dai valori caratteristici delle azioni. Con riferimento alla notazione delle LLGG la prova dà esito soddisfacente se $S_{Cds} < R_{el,Cds}$, senza necessità di introdurre ulteriori moltiplicatori.

Nel caso di ponti esistenti la situazione è differente.

I margini tra limite elastico e collasso non sono sempre stimabili, per cui non è consentito trarre conclusioni sulla sicurezza a partire dal limite elastico nel caso di situazioni fragili ("casi in cui la difettosità può essere collegata all'insorgere di meccanismi fragili e nei casi di elevata corrosione di cavi di precompressione o parti metalliche principali").

Nel caso di carichi da codice della strada non si hanno al momento informazioni statistiche per seguire lo stesso approccio e i coefficienti γ_{Cds} indicati per le verifiche allo SLU agiscono direttamente su valori nominali del carico.

Qualora si arresti la prova di carico ad una combinazione di carico che individui un valore di carico $R_{act,exp,r}$ comunque nel campo elastico della struttura, anche se non individuabile come soglia massima elastica ($R_{act,exp,r} < R_{el,exp,r}$), e si verifichino le medesime condizioni indicate nel testo delle LLGG, e cioè che:

“La prova deve restituire un aumento sostanzialmente lineare degli effetti all’aumentare dei carichi, un valore degli spostamenti residui trascurabile allo scarico, ossia *minori del 5% dello spostamento massimo*, e non deve mostrare alcun aumento della difettosità riscontrata.”

Allora è possibile ammettere la transitabilità dell’opera a valori di carico $S_{Cds,act}$ così determinati:

$$S_{Cds,act} < \frac{R_{act,exp}}{\gamma_{Cds} \cdot \max(\gamma_M)}$$

In assenza di evoluzioni dei difetti ed in presenza di un adeguato monitoraggio che assicuri la gestione dei relativi rischi, la procedura può essere reiterata oltre i primi 60 giorni.

PARTE III

SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO

BIBLIOGRAFIA

7. SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO

7.1 INTRODUZIONE

Il presente capitolo riporta le indicazioni, i criteri ed i requisiti minimi delle procedure adottate dagli Enti pubblici e privati gestori di trasporto sul territorio nazionale, per pianificare ed effettuare le attività di gestione della sicurezza strutturale (quali sorveglianza, controllo, ispezione e monitoraggio) dei ponti esistenti, in maniera uniforme per tutto il territorio nazionale, in applicazione della procedura generale prevista dalle presenti Linee Guida, in funzione della loro collocazione nelle diverse Classi di Attenzione secondo quanto descritto nel § 4, a valle della quale i gestori attiveranno le funzioni di sorveglianza da estendersi all'intera vita operativa delle infrastrutture.

Nello sviluppo della presente sezione delle Linee Guida si è tenuto conto dei sistemi di sorveglianza già in uso presso alcuni gestori, individuando criteri operativi sufficientemente generali da poterli attuare senza necessità di revisioni sostanziali dei sistemi stessi. I dati già acquisiti nel tempo, mediante le attività di sorveglianza, costituiscono un patrimonio di informazioni assai importante per lo studio e la caratterizzazione statistica dei fenomeni di degrado che interessano gli asset infrastrutturali in Italia e che potrà essere convenientemente valorizzato in un approccio di vasta scala.

Il modello di sistema di sorveglianza proposto nelle presenti Linee Guida comprende sia le attività di ispezione periodica, da condurre secondo metodologie tradizionali, sia le più moderne tecnologie di monitoraggio strumentale di cui è raccomandato l'impiego per le opere di Classe di Attenzione Medio-Alta e Alta e per alcune classi di opere ritenute a maggior rischio o di particolare interesse.

Si rileva tuttavia che la conduzione di attività ispettive ed il dispiegamento di sistemi di monitoraggio strumentale non esime i gestori dalla sorveglianza continua e capillarmente diffusa che il personale di esercizio deve compiere, anche in modo non formalizzato, mediante l'osservazione di eventuali danneggiamenti, anomalie o malfunzionamenti delle strutture, dei dispositivi ausiliari e dell'ambiente che le circonda, segnalando le situazioni significative ai responsabili della gestione ed espletando, ove possibile, le necessarie azioni di presidio e correttive in regime di automanutenzione continua.

Le ispezioni periodiche ed il monitoraggio di un'opera esistente, condotto con metodologie tradizionali o innovative, ha lo scopo di consentire la valutazione dello "stato di condizione" dell'opera stessa (diagnosi) con riferimento alla sua "idoneità all'uso previsto", comprendente sia gli aspetti di sicurezza strutturale e fondazionale sia quelli relativi alle eventuali pericolosità di natura ambientale ed all'efficienza degli apparati ausiliari, e di stimarne le tendenze evolutive (prognosi). Tali parametri, unitamente allo studio dei dati riguardanti la storia dell'opera raccolti nell'inventario/censimento di livello 0 (anamnesi), costituiscono infatti la base di informazioni necessaria a:

- migliorare la conoscenza dell'opera riducendo le incertezze di natura epistemica (azioni, resistenze, modelli);
- aggiornare la valutazione del rischio dell'opera e quindi il suo inserimento in una Classe di Attenzione corrente;
- pianificare in modo efficace, in termini tecnico-economici, gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

E' fondamentale che la formazione e l'aggiornamento del personale tecnico dedicato alle attività di sorveglianza, monitoraggio, manutenzione e gestione delle opere infrastrutturali costituisca oggetto di particolare attenzione e cura da parte dei gestori, a riguardo si faccia anche riferimento a quanto indicato nel §1.7.

Nel testo sono anche indicati i riferimenti a normative nazionali ed internazionali e a documentazione tecnico-scientifica, ritenuti utili.

7.1.1 STRUMENTI OPERATIVI DEL SISTEMA DI SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO

Sono strumenti operativi del sistema di sorveglianza e monitoraggio:

- Ispezioni periodiche ordinarie;
- Ispezioni straordinarie;
- Indagini non distruttive e semidistruttive;
- Prove di carico statiche e rilievi della risposta dinamica;
- Monitoraggio strumentale;
- Algoritmi di analisi e interpretazione dati;
- Modelli rappresentativi del comportamento reale;

- Indici dello stato di condizione e modelli di degrado;
- Basi dati informatiche (BMS, di cui al §7.8).

Nel seguito sono fornite indicazioni di maggiore dettaglio a proposito di tali strumenti, sul Sistema di Sorveglianza (§7.2) e sul Sistema di Identificazione degli elementi dei ponti (§ 7.3).

7.2 IL SISTEMA DI SORVEGLIANZA

7.2.1 GENERALITÀ

Il sistema di sorveglianza rappresenta il complesso delle attività di controllo, ispezione e monitoraggio sulle opere d'arte che il gestore di una rete infrastrutturale deve svolgere allo scopo di assicurare la disponibilità, la funzionalità e il mantenimento delle condizioni di sicurezza dell'infrastruttura stessa. Tali attività coinvolgono aspetti organizzativi e strumenti operativi con le relative procedure che riguardano le modalità con cui i dati relativi alla condizione e funzionalità dei ponti devono essere raccolti, analizzati ed interpretati nel loro sviluppo temporale anche affinché sia resa possibile una efficace programmazione degli interventi di manutenzione ordinaria e, ove del caso, di manutenzione straordinaria, nonché sia periodicamente rivalutata la classe di attenzione del ponte, procedendo, nel caso, alle necessarie verifiche di sicurezza di Livello 4 di cui al § 6.

Come ricordato nel § 7.1, le attività previste dal sistema di sorveglianza si collocano, infatti, a valle di una classificazione o eventuale riclassificazione, dei ponti presenti in una rete, in una Classe di Attenzione in attuazione di quanto previsto al § 4. Le relazioni funzionali tra la suddivisione in Classi di Attenzione dei ponti e le attività di monitoraggio sono descritte nel diagramma di *Figura 1.1*.

Le attività di sorveglianza e monitoraggio sono nel seguito strutturate secondo una strategia cosiddetta “*risk-based*”, cioè dipendente dalla Classe di Attenzione caratteristica del ponte nello stato corrente. Esse comprendono ispezioni ordinarie (definite di 2° Livello) e straordinarie, l'esecuzione di test statici e dinamici occasionali e l'installazione di sistemi per il monitoraggio strumentale in modalità periodica o permanente. L'attuazione di un sistema di monitoraggio strumentale permanente può anche essere inclusa fra le strategie di riduzione del rischio e quindi, seppur non direttamente influenzante l'attribuzione della Classe di Attenzione, può contribuire a ridurre l'impegno per le ispezioni, eventualmente riducendone la frequenza. Tuttavia, tale opzione può essere eventualmente adottata dopo un congruo periodo di sperimentazione e messa a punto dei sistemi di monitoraggio strumentale.

Il sistema di sorveglianza fornisce evidenza della corretta gestione dell'infrastruttura ai sensi delle presenti Linee Guida e costituisce, altresì, supporto alle decisioni in ordine alla programmazione degli investimenti di manutenzione da svilupparsi: (1) a livello di singola opera (*project level*) e (2) a livello dell'intera rete (*network level*). Nella programmazione degli investimenti a livello di rete si deve anche tener conto degli aspetti relativi alla resilienza, soprattutto delle reti strategiche (Livello 5 § 1.3), in cui assumono particolare significato le considerazioni sulla ridondanza della rete stessa.

Il decreto-legge 28 settembre 2018, n.109, convertito, con modificazioni, dalla legge 16 novembre 2018, n. 130, prevede, all'articolo 12, comma 4, lettera b), che i Sistemi di Gestione della Sicurezza adottati da parte dei gestori delle reti stradali ed autostradali siano certificati da organismi di parte terza riconosciuti, secondo le procedure che saranno, allo scopo, emanate.

7.2.2 DOCUMENTAZIONE DEL SISTEMA

Il sistema di sorveglianza è formalizzato e documentato, in forma scritta, in una serie di manuali e/o procedure operative che trattino i diversi aspetti della gestione della sicurezza dei ponti ed in particolare degli strumenti operativi per il monitoraggio. Il contenuto tipico di tale documentazione può essere articolato come segue.

Organizzazione del sistema di sorveglianza

Dovranno essere specificate le linee di comando e controllo e di comunicazione per l'esecuzione delle attività di sorveglianza e monitoraggio. A riguardo può farsi utile riferimento alle norme dalla serie UNI ISO 55000 “Gestione dei beni (asset management)”.

Sistema di identificazione dei ponti e degli elementi costruttivi

Il sistema di identificazione dei ponti e degli elementi costruttivi rappresenta la base operativa per la conduzione delle attività di monitoraggio, per la sintesi e per l'analisi e interpretazione dei dati.

Catalogo dei difetti

Si descrivono i difetti tipici che possono essere osservati sui ponti a seconda del materiale di cui sono costituiti. L'Allegato C alle presenti Linee Guida contiene una serie di schede di rilievo e valutazione dei difetti, comprensive dei parametri di valutazione che, oltreché per le attività di cui al Livello 1 di ispezione iniziale, § 3, può essere convenientemente utilizzato per le attività di sorveglianza.

Schede descrittive di ispezione

L'Allegato B alle presenti Linee Guida contiene modelli di schede descrittive delle ispezioni che possono essere utilizzate, in forma cartacea ovvero informatizzate, anche per le ispezioni periodiche con le precisazioni di cui al successivo § 7.4.

Altre attività di sorveglianza

Sono descritte le modalità con cui il gestore deve svolgere le ulteriori attività di sorveglianza, ove necessario, e segnatamente: le ispezioni straordinarie, le prove non distruttive e semidistruttive, le prove di carico statiche e i rilievi della risposta dinamica.

Monitoraggio periodico o continuo

Sono descritte le modalità con cui il gestore deve svolgere, ove richiesto, in particolare per le Classi di Attenzione Medio-Alta e Alta, le attività di monitoraggio periodico e continuo.

Software per l'archiviazione dei dati

Costituito dalle componenti di archiviazione e elaborazione dei dati e per il supporto alle decisioni, denominata BMS (Bridge Management System).

Modelli di interpretazione

Per il necessario supporto alle decisioni, nonché per l'eventuale individuazione di comportamenti strutturali anomali, i dati provenienti dalle ispezioni e dal monitoraggio strumentale devono essere interpretati, mediante idonei modelli interpretativi da considerarsi nel BMS e nei sistemi di gestione di monitoraggio strutturale.

Schemi decisionali per la gestione del traffico e la manutenzione in funzione dei risultati del sistema di sorveglianza e monitoraggio

In funzione dell'applicazione dei modelli di cui al punto precedente, può essere determinato lo stato di condizione del ponte ad un certo istante di tempo e la sua probabile evoluzione. Il sistema di sorveglianza deve definire quali decisioni il gestore deve assumere in funzione di questi parametri e quindi delle classi di attenzione attuali e tendenziali, in ordine alla conduzione delle verifiche di sicurezza e alle decisioni conseguenti, secondo quanto specificato nel § 7.7 e nel § 7.8. Inoltre, per le situazioni che non richiedono interventi immediati deve specificare in base a quali criteri sono pianificate le attività di manutenzione nel medio periodo.

7.3 IL SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE

7.3.1 SCOPO DEL SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE

Il sistema di identificazione ha lo scopo di associare dati e informazioni provenienti dal sistema di sorveglianza e monitoraggio ai diversi elementi costruttivi del ponte, alle dotazioni ausiliarie, agli apparati di appoggio degli impalcati e in generale a "oggetti" il cui stato di condizione può essere osservato (o determinato attraverso rilievi e misure strumentali) indipendentemente gli uni dagli altri e che costituisca un'entità a sé stante dal punto di vista dei fenomeni di degrado e danneggiamento subiti e dei possibili interventi di manutenzione, sostituzione e/o ripristino.

La scomposizione del ponte in "oggetti" può, tra l'altro, essere resa compatibile con l'eventuale costruzione di modelli BIM o di modelli agli elementi finiti (eventualmente incorporati nei modelli BIM) su cui possono essere attivate procedure di condivisione dei dati (interoperabilità) con i software BMS e di gestione dei sistemi di monitoraggio strumentale nonché di analisi e verifica strutturale e di gestione della manutenzione.

Per poter identificare gli elementi nella loro posizione è necessario che a ciascuno di essi sia associato un codice identificativo, univoco all'interno dell'opera, anche se la logica di formazione dei codici potrà essere comune alle diverse tipologie strutturali ed ai diversi materiali.

La struttura è già stata definita e identificata a livello di censimento iniziale, Livello 0, comprendendo gli elementi sintetici che descrivono l'opera stessa. Tale insieme di elementi è qui denominato *Elementi Nazionali*. Ad essi sono aggiunti altri elementi e dati secondo quanto specificato al § 3 e che sono qui denominati *Elementi di Rete*, poiché essi hanno lo scopo di consentire l'attribuzione di Classi di Attenzione, Livello 2, la cui utilità si manifesta nelle pianificazioni a livello di rete e sono definiti in modo tale da rendere efficace la conduzione delle ispezioni iniziali di Livello 1.

Il sistema di identificazione è ulteriormente arricchito con le informazioni utili ai fini della valutazione quantitativa dello stato di condizione dell'opera, ad esempio le eventuali valutazioni di Livello 3 o verifiche accurate di Livello 4, i risultati della conduzione delle ispezioni periodiche o straordinarie e del monitoraggio periodico o continuo e la pianificazione ed esecuzione degli interventi a livello della singola opera. L'insieme di questi elementi è qui denominato *Elementi di Opera*. Ovviamente, il sistema di etichettatura degli elementi ai diversi livelli deve essere coerente e intercomunicante, cioè utilizzare codici numerici (CUP) in sequenza.

La relazione fra i diversi livelli del sistema di identificazione è illustrata nella *Figura 7.1*.

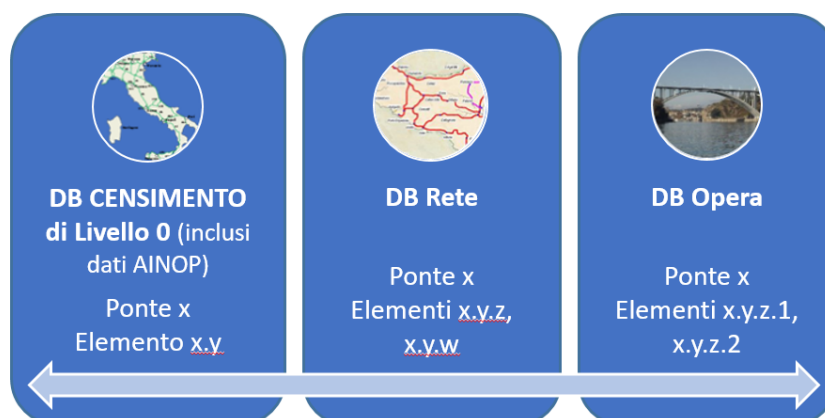


Figura 7.1– Sistema di identificazione a più livelli interconnessi

In particolare, la sezione “Ponti e Viadotti Stradali” della base dati AINOP contiene, per ciascuna opera, un record composto da vari gruppi di campi alfanumerici che rappresentano gli Elementi Nazionali. Oltre a campi che contengono dati descrittivi di tipo generale, il record è articolato nei seguenti gruppi di campi: schema statico, spalle, pile, impalcato, sistemi di protezione, giunti, apparecchi di appoggio. L'esempio riportato in Appendice illustra come il campo “Tipologia soletta” del gruppo “Impalcato” potrebbe essere suddiviso in Elementi di Opera.

7.4 LE ISPEZIONI

Fermo restando quanto indicato nel § 3 in merito alle ispezioni visive finalizzate alla determinazione della classe di attenzione, nel generale ambito del Sistema di Gestione della Sicurezza, le ispezioni visive sono utili al rilievo di difetti causati dal degrado, dall'uso o da fenomeni ambientali nelle componenti strutturali e accessorie dell'opera che presentino manifestazioni esterne e che possano anche essere valutati mediante semplici misure e prove ND, oppure di situazioni al contorno di natura idraulica o geologica potenzialmente pericolose per l'integrità e la funzionalità dell'opera stessa.

Devono essere previste ispezioni periodiche (ordinarie) ed ispezioni straordinarie più approfondite da compiersi quando se ne verifichi la necessità e comunque non oltre un predeterminato lasso di tempo. Le ispezioni ordinarie sono documentate mediante i modelli di schede riportati nell'Allegato B (o equivalenti); le ispezioni straordinarie sono documentate in appositi specifici Rapporti. Tutte le documentazioni delle ispezioni devono essere registrate nel BMS e rese accessibili per le successive analisi ed elaborazioni.

Le ispezioni sono accompagnate, ove necessario, dall'esecuzione di prove non distruttive e semidistruttive secondo quanto indicato nel seguito.

Per i requisiti del personale impiegato nelle attività ispettive e dei laboratori si fa riferimento al § 1.7 e § 1.8.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.4.1

Si ricorda che il Gestore, nell'ambito della propria autonomia gestionale, potrà adottare procedure interne che prevedano l'utilizzo di modelli anche diversi da quelli previsti dalle Linee Guida, a condizione che le schede finali risultanti vengano ricondotte - a cura del Gestore stesso - al formato previsto dagli allegati delle Linee Guida.

Al riguardo si ricorda che, ai fini di un maggiore dettaglio, costituiscono utile riferimento gli allegati alle presenti Istruzioni Operative.

7.4.1 ISPEZIONI ORDINARIE

Le ispezioni ordinarie saranno eseguite con frequenze minime, secondo lo schema di *Tabella 7.1*, in funzione della Classe di Attenzione corrente del manufatto e del fatto che siano opere (Tipo 1) già inserite in un sistema di sorveglianza conforme alla Circolare n° 6736/61/AI del 1967 (delle quali è quindi sufficientemente noto lo stato di conservazione e l'evoluzione attesa dei difetti) o opere (Tipo 2) sia nuove, sia già in esercizio da diversi anni, ma per le quali non sono state effettuate le ispezioni periodiche di cui alla Circolare sopra citata e che quindi non sia noto lo stato conservativo/manutentivo, il progredire dei difetti presenti (curva di degrado reale).

Tabella 7.1– Frequenza minima delle ispezioni ordinarie¹

CDA -	Bassa	Medio - Bassa	Media	Medio-Alta	Alta
Frequenza Opere "Tipo 1"	Biennale	18 mesi	Annuale	In funzione del monitoraggio o semestrale	In funzione del monitoraggio o semestrale
Frequenza Opere "Tipo 2"	Annuale	9 mesi	Semestrale	In funzione del monitoraggio o trimestrale	In funzione del monitoraggio trimestrale

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.4.1.1

Con riferimento alla nota pedice 1, si ricorda che essa è da applicare al solo caso di opere ricadenti nel Tipo 2 (ovvero opere non già soggette ad un sistema di sorveglianza conforme alla Circolare del '67).

Inoltre, poiché, ai sensi della Istruzione Operativa 1.1.1, il sistema di sorveglianza conforme alla Circolare del '67 viene sostituito dal sistema di sorveglianza delle Linee Guida, va specificato che, col procedere progressivo delle ispezioni in accordo alle Linee Guida (con la relativa identificazione dello stato di conservazione e classificazione del rischio), nel momento in cui il Gestore, a valle di almeno 2 ispezioni, riterrà sufficienti i dati per valutare l'evoluzione attesa dei difetti, le opere di tipo 2, a regime, diventeranno automaticamente di tipo 1, in quanto inserite nel programma di sorveglianza ai sensi delle Linee Guida.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.4.1.2

Si ricorda che è fondamentale una ottimale pianificazione delle operazioni di sorveglianza, in funzione della tipologia specifica di rischio identificato. In particolare, la programmazione temporale delle ispezioni ordinarie periodiche deve essere opportunamente specificata e differenziata per le diverse tipologie di rischio, adottando una periodicità derivante dalla Classe di Attenzione complessiva dell'opera, adattata alle specifiche Classi di Attenzione per ciascuna specifica fonte di rischio.

La programmazione e la esecuzione delle ispezioni periodiche ordinarie vanno comunque intese nell'ambito di un processo unitario di valutazione del rischio complessivo e sono progressivamente da programmare ed organizzarsi in attività ispettive organiche.

Inoltre, per ponti/viadotti caratterizzati dalla stessa Classe di Attenzione, è opportuno adottare una prioritizzazione che individui l'ordine temporale delle attività in funzione delle cause che hanno determinato la Classe di Attenzione.

• Rischio strutturale-fondazionale e sismico:

Nel caso di opere di tipo 1 ricadenti in Classe di Attenzione complessiva ALTA e MEDIO-ALTA, sono possibili due alternative di gestione delle ispezioni ordinarie in relazione al rischio strutturale-fondazionale e sismico:

1. Frequenza delle ispezioni pari a 6 mesi, eseguite da personale tecnico specificatamente formato;
2. Ispezioni annuali eseguite da personale tecnico specificatamente formato, integrate da ispezioni di sorveglianza intermedie, cadenzate ogni 3 mesi, eseguite da personale adeguatamente addestrato, finalizzate ad accertare lo stato di consistenza e conservazione delle strutture e verificare che non vi siano evoluzioni significative rispetto a quanto indicato nell'ispezione annuale.

Il personale di sorveglianza che svolge le sopra indicate ispezioni intermedie dovrà essere adeguatamente formato per le tipologie di rischio in esame ed espressamente preposto a tali attività nell'ambito del sistema normato di vigilanza autonomamente adottato dal Gestore al proprio interno.

• Rischio idraulico:

¹Si osserva che la Circolare LL PP 6736/61/AI del 19.07.67 prevedeva per tutti i ponti della rete stradale italiana l'esecuzione di ispezioni trimestrali. Tuttavia, tale frequenza non trova corrispondenza nelle normative e nelle prassi internazionali, che prevedono frequenze più basse e quanto meno annuali. Inoltre, poiché i fenomeni di degrado si sviluppano in tempi generalmente lunghi, la frequenza trimestrale appare non utile nel caso generale. Pertanto, sia per ragioni di continuità che in considerazione dell'età avanzata della maggior parte dei ponti e dei viadotti esistenti sul territorio nazionale, si ritiene opportuno conservare la frequenza trimestrale per le sole opere classificate in Classi di Attenzione Medio-Alta e Alta, ove peraltro è prevista, ove possibile, l'installazione di un sistema di monitoraggio periodico o continuo.

Nel caso di assenza di pericolosità (ad esempio, assenza di corso d'acqua) non è necessario ripetere le ispezioni ordinarie per questa tipologia di rischio.

Se invece è stata individuata e rilevata, nell'ambito dell'ispezione iniziale, presenza di fenomeni interferenti di natura idraulica, si possono limitare le ispezioni visive periodiche agli aspetti caratterizzati da dinamica evolutiva significativa rispetto alla frequenza delle ispezioni. Per esempio, per le dinamiche d'alveo, così come per opere di protezione di fondo e di sponda in buone condizioni, è tipicamente sufficiente una frequenza annuale di rilievo. Viceversa, laddove vi siano evidenze di difetti nelle opere di protezione, non è opportuno ridurre la frequenza delle ispezioni. Per i processi a dinamica lenta si consiglia di mettere in atto, qualora ritenute necessarie, attività di monitoraggio, mitigazione del rischio e/o tutte le altre attività di sorveglianza e gestione delle opere previste a valle della classificazione.

Per i ponti in Classe di Attenzione complessiva ALTA o MEDIO-ALTA e con Classe di Attenzione idraulica ALTA o MEDIO-ALTA, alcune attività di sorveglianza potranno essere eseguite da personale adeguatamente addestrato nell'ambito delle ispezioni «intermedie», come definite per il rischio strutturale-fondazionale e sismico.

È compito del Gestore valutare le attività di sorveglianza necessarie per le opere in Classe di Attenzione idraulica ALTA o MEDIO-ALTA nei casi in cui la Classe di Attenzione complessiva non sia ALTA o MEDIO-ALTA, a seconda delle specifiche criticità che hanno determinato la Classe di Attenzione relativa al Rischio Idraulico.

Rimane l'obbligo di ispezioni straordinarie (§ 7.4.2) a valle di eventi eccezionali quali alluvioni.

- **Rischio frane:**

Nel caso in cui la classificazione di Livello 2 abbia consentito di assegnare la Classe di Attenzione frane BASSA ed il rischio frane sia assente (si veda l'Istruzione Operativa 4.4.2.2) non è necessario ripetere le ispezioni ordinarie per questa tipologia di rischio, a condizione che la pericolosità PAI-Frane in vigore sia assente, che la morfologia del sito sia stata classificata come "Pianura" lontana dai versanti (si vedano le schede di Livello 0 e 1) e che siano assenti fenomeni idraulici caratterizzati da dinamica evolutiva significativa (ad esempio fenomeni di erosione spondale che possano innescare instabilità).

Per i ponti in Classe di Attenzione complessiva ALTA o MEDIO-ALTA con Classe di Attenzione frane ALTA o MEDIO-ALTA alcune attività di sorveglianza potranno essere eseguite da personale adeguatamente addestrato nell'ambito delle ispezioni «intermedie» come definite per il rischio strutturale-fondazionale e sismico.

Rimane l'obbligo di ispezioni straordinarie a seguito di eventi quali sismi, alluvioni e frane che possano avere influito sulla stabilità dell'opera.

Nella conduzione delle ispezioni ordinarie le schede di rilevamento devono essere compilate separatamente per ciascuno degli elementi definiti a livello opera e devono essere complete di tutti gli indicatori rappresentati nelle schede. Le ispezioni devono essere condotte visivamente e con l'ausilio di semplici strumenti, quali martelli, strumenti di misura delle lunghezze, sensori portatili, eccetera. Tutti i difetti riscontrati devono essere fotografati con risoluzione adeguata e con riferimenti metrici; le fotografie devono essere identificate e trasferite nel BMS in associazione alla scheda. L'Ispettore deve fare menzione di situazioni particolarmente significative nel campo "NOTE".

In ausilio allo svolgimento delle ispezioni visive, è possibile avvalersi di droni o di mezzi teleguidati o robotizzati dotati di ottica nei campi visibile e infrarosso ovvero mediante scanner RGB. Si sottolinea la necessità che le immagini acquisite con tali mezzi siano geolocalizzate e referenziabili geometricamente rispetto all'elemento indagato e che l'estensione del difetto sia misurabile. Per le pavimentazioni, oltre alla caratterizzazione visiva dei difetti, possono essere eseguite scansioni con veicoli attrezzati o attrezzature a conduzione manuale.

La compilazione delle schede può essere eseguita mediante terminali elettronici/digitali (es. tablets, palmari, smartphones, etc.) gestiti dal BMS ed eventualmente facilitata dal riconoscimento automatico degli elementi mediante targhe con codici QR o a barre preventivamente fissate su di essi.

Nel corso delle ispezioni ordinarie è raccomandata l'esecuzione di semplici test non distruttivi quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo: prove sclerometriche, misure di spessori di protezione, misure di umidità e pH (anche mediante applicazione di soluzione di fenolftaleina), misure di potenziale elettrico. I risultati dei test devono essere riportati nella scheda utilizzata.

Si richiama l'attenzione sul fatto che le ispezioni ordinarie, oltre che le strutture, le opere di fondazione e le dotazioni ausiliarie, devono riguardare le condizioni dell'ambiente circostante ai fini del rilevamento di situazioni anomale con riferimento al rischio alluvioni e frane. Allo scopo possono essere utilizzati gli specifici modelli di schede riportate nell'Allegato B. Frequenza e modalità di queste ultime ispezioni possono essere basate sulle indicazioni dei livelli di rischio fornite dai Piani di Bacino e dagli altri documenti tecnici regionali disponibili.

Le ispezioni ordinarie sono finalizzate all'attribuzione di un valore numerico/quantitativo rappresentativo dello stato di condizione per ciascun elemento indagato e per l'intera opera. Tale attribuzione può essere eseguita in via automatica dagli algoritmi integrati nel BMS.

Le ispezioni ordinarie non sostituiscono le verifiche di sicurezza (Livello 3 e Livello 4), che richiedono una conoscenza dettagliata della struttura e del degrado subito, ma orientano le modalità di esecuzione delle indagini da compiersi nell'ambito delle ispezioni straordinarie, di selezione degli obiettivi dei programmi di monitoraggio strumentale e le conseguenti verifiche di sicurezza, eventualmente da compiersi come riportato al § 6.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.4.1.3

Si ricorda che, come specificato al § 7.2 e nella Tabella 7.1, l'attuazione di un sistema di monitoraggio strumentale permanente, progettato, è in grado di fornire indicazioni quantitative la cui interpretazione fornisce valutazioni più accurate rispetto alle ispezioni visive.

Per le opere in Classe di Attenzione MEDIO-ALTA e ALTA, la presenza di un idoneo sistema di monitoraggio strumentale, concepito in base agli elementi di maggiore criticità/difettosità, permette di pianificare le ispezioni periodiche ordinarie con cadenza annuale (come per la Classe di Attenzione MEDIA), purché siano attuate delle ispezioni intermedie degli elementi maggiormente critici/difettosi, la cui frequenza verrà stabilita sulla base degli esiti del monitoraggio strumentale (es. evoluzioni anomale dei parametri monitorati).

Nel periodo transitorio di calibrazione del sistema di monitoraggio strumentale, si dovrà fare riferimento alle cadenze indicate in Tabella 7.1 o nelle Istruzioni Operative 7.4.1.1 e 7.4.1.2.

7.4.2 ISPEZIONI STRAORDINARIE

Le ispezioni straordinarie hanno lo scopo di acquisire informazioni utili ad approfondire la conoscenza dei fenomeni di degrado e della condizione strutturale dell'opera quando le ispezioni ordinarie abbiano riscontrato criticità evidenti, ad esempio di gravità 5, nonché quando si siano verificati eventi eccezionali, quali incidenti rilevanti, urti, sismi, alluvioni e frane che possano avere influito sulla stabilità dell'opera e ancora, in generale, quando lo studio dei modelli predittivi evidenzia dei comportamenti anomali del degrado, come descritto § 7.7, eventualmente in abbinamento a sistemi di monitoraggio periodici o continui, come per le Classi di Attenzione Medio-Alta e Alta. Nei casi ora menzionati, per i quali la Classe di Attenzione si è evoluta in senso negativo, le ispezioni straordinarie devono essere eseguite al più presto e comunque non oltre 60 giorni da quando ne venga resa nota la necessità.

In ogni caso, l'esecuzione di ispezioni straordinarie deve avvenire non oltre 5 anni dalla precedente ispezione per manufatti con Classi di Attenzione Bassa e Medio-Bassa e non oltre 2 anni negli altri casi.

Le ispezioni straordinarie, che vanno eseguite a contatto diretto con le strutture, devono essere accompagnate da prove non distruttive fra cui, ad esempio e non esaustivamente, le seguenti:

- prelievo di campioni per prove meccaniche e chimico-fisiche,
- prove sclerometriche, sonreb (con carotaggi di calibrazione, come da documenti di riferimento) o equivalenti,
- prove di pull-out,
- prove ultrasoniche o georadar per rilevamento di vuoti e discontinuità,
- mappature di potenziale elettrico,
- sondaggi e ispezioni con endoscopia,
- prove magnetiche e/o georadar sui cavi di precompressione,
- misure diffuse di umidità e pH,
- Determinazione dello stato di tensione.

Inoltre, per le strutture metalliche:

- misure dello spessore residuo delle vernici protettive,
- prove di serraggio dei bulloni,
- controllo delle saldature con ultrasuoni e/o liquidi penetranti.

Le ispezioni straordinarie devono in particolar modo concentrarsi sui difetti evidenziati dalle ispezioni ordinarie allo scopo di accertarne origine, stato e tendenze evolutive.

Le zone di prelievo dei campioni e di esecuzione dei sondaggi e prove semidistruttive devono essere accuratamente ripristinate.

Le ispezioni straordinarie possono, se ritenuto opportuno, essere accompagnate da prove di carico statiche e da rilievi dinamici, da eseguirsi come discusso nel § 7.5.

Le indagini straordinarie devono essere compiutamente documentate in un rapporto, con la precisa descrizione delle operazioni effettuate, degli elementi indagati, identificati attraverso il loro codice, delle risultanze delle prove eseguite in situ ed in laboratorio ed essere corredate da idonea documentazione fotografica e dei necessari rilievi geometrici. La relazione deve concludersi con la valutazione sullo stato dell'opera e sulle tendenze evolutive del degrado con indicazioni per le successive azioni.

I Rapporti delle ispezioni straordinarie devono essere registrati e resi accessibili nella loro interezza all'interno del BMS mediante il codice identificativo del ponte. La relazione, integrata con i risultati delle ispezioni ordinarie, con le analisi dei dati provenienti dal sistema di monitoraggio strumentale, ove installato, e dal confronto con i modelli predittivi è valutata dai responsabili della gestione per formulare la riattribuzione o la conferma della Classe di Attenzione, come descritto nel successivo § 7.7.3.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.4.2.1

Chiarimenti in merito alle ispezioni straordinarie

Con riferimento al periodo di cui al § 7.4.2 delle Linee Guida: *"In ogni caso, l'esecuzione di ispezioni straordinarie deve avvenire non oltre 5 anni dalla precedente ispezione per manufatti con Classi di Attenzione Bassa e Medio-Bassa e non oltre 2 anni negli altri casi."*, si chiarisce che la locuzione avverbiale *"in ogni caso"* è impiegata, e dunque è da intendersi, nel senso di *"in ciascuno dei casi sopra contemplati (riscontro di criticità evidenti in esito alle ispezioni ordinarie, storia di eventi eccezionali, quali incidenti rilevanti, urti, sismi, alluvioni e frane, che possano avere influito sulla stabilità dell'opera e evidenza di comportamenti anomali del degrado risultanti dallo studio di modelli predittivi eventualmente in abbinamento a sistemi di monitoraggio periodici o continui)"*.

Le indicazioni fornite nel testo delle Linee Guida in merito alle tempistiche di esecuzione dell'ispezione straordinaria, infatti, costituiscono dei suggerimenti. Pertanto, alla luce del chiarimento sopra reso il suggerimento delle Linee Guida è che l'ispezione straordinaria deve essere eseguita solo quando necessario, fermo restando che la decisione dell'esecuzione di tale ispezione è prerogativa dell'Ente Gestore.

Il gestore dovrà opportunamente progettare il piano delle eventuali prove integrative rispetto a quelle già in possesso, in particolare rinvenienti da eventuali valutazioni accurate.

7.4.3 CASI CHE RICHIEDONO PARTICOLARE ATTENZIONE

Tanto nella conduzione delle ispezioni ordinarie che di quelle straordinarie, ma soprattutto nel corso di queste ultime, deve essere posta particolare cura ed attenzione all'accertamento della presenza, estensione e intensità di fenomenologie di degrado particolarmente significative per la stabilità dei ponti e dei viadotti, quali quelle di seguito illustrate.

7.4.3.1 Strutture precomprese a cavi post-tesi

Le strutture precomprese a cavi post-tesi e iniettati, fra le quali, in particolare, quelle realizzate negli anni '60 e '70, possono essere soggette a pericolose situazioni di degrado che possono comportare corrosione dei cavi di precompressione e che, pertanto, possono influire negativamente sulla resistenza della struttura e provocare collassi improvvisi, anche in assenza di sovraccarico e/o di traffico. Tali situazioni possono essere in prevalenza causate da difetti nelle iniezioni dei cavi che, in presenza di stati di corrosione delle guaine o degli ancoraggi e/o infiltrazioni di acqua, possono costituire zone di innesco della corrosione.

Nel corso delle ispezioni periodiche deve essere posta particolare attenzione alla presenza di difetti catalogati (Allegato C) sub c.a.p._4, c.a.p._5, c.a.p._6, c.a.p._7 e c.a.p._10. Il difetto c.a.p._9 corrisponde ad una situazione in cui il danneggiamento dei fili o dei cavi di precompressione risulta evidente anche ad un esame visivo.

Inoltre, la corrosione dei cavi provoca una diminuzione della forza di precompressione che può causare la comparsa di lesioni, anche modeste, nelle sezioni critiche a flessione o a taglio e spostamenti a carattere permanente. Tali manifestazioni, in associazione con i difetti sopradescritti, denunciano la probabile presenza di uno stato di corrosione significativo delle armature di precompressione ma, anche in assenza di difetti tipici concomitanti, vanno comunque considerate con attenzione.

In detti casi è necessario ridefinire la Classe di Attenzione dell'opera e quindi procedere con urgenza, e comunque entro il termine già detto di 60 giorni, ad una accurata ispezione straordinaria da compiersi con l'ausilio di metodi non distruttivi e semidistruttivi. Allo stato, non sono disponibili metodi di indagine non distruttivi capaci di rilevare la diminuzione delle sezioni dei cavi prodotta dalla corrosione con adeguata affidabilità ed è quindi necessario procedere all'esecuzione di saggi che consentano l'ispezione diretta della condizione dei fili.

Si raccomanda che l'indagine sia condotta in accordo a standard di comprovata validità, quali le Linee Guida FHWA-HRT-13-028 *Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grouts in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts*.

E' possibile fare riferimento a quanto descritto per le ispezioni speciali di Livello 1, § 3.6, ed alla relativa scheda di cui all'Allegato D. In ogni caso, si raccomandano almeno le seguenti attività:

- Individuazione del tracciato dei cavi e localizzazione di eventuali difetti

Il reperimento e l'analisi del materiale di progetto originario è indispensabile per avere un'accurata conoscenza delle caratteristiche degli elementi in c.a.p. e, in particolare, della disposizione delle armature all'interno di essi.

Qualora tale materiale non sia stato reperito durante le operazioni di Censimento al Livello 0 o non sia esaustivo, o anche solo per validarne l'affidabilità, occorre eseguire indagini non distruttive, quali indagini *pacometriche*, indagini *Georadar*, *tomografie ultrasoniche* o tecniche di *Impact-Echo*, che, oltre a consentire l'individuazione delle armature, permettono di identificare eventuali discontinuità, vuoti o fessure all'interno degli elementi indagati.

Al medesimo scopo possono risultare di grande utilità i metodi magnetici, quali il metodo di dispersione del flusso magnetico (*MFL – Magnetic Flux Leakage*) e metodi elettrochimici, quali la *misura del potenziale di corrosione* che consente di stimare la velocità di corrosione delle armature.

- Esecuzione di una campagna di indagini per la valutazione del grado di difettosità degli elementi

I risultati delle indagini non distruttive, sopra citate, forniscono utili informazioni riguardo la localizzazione di eventuali difetti o discontinuità, sulla base delle quali è necessario redigere un opportuno e razionale piano di indagini che consenta di approfondire, laddove necessario, la conoscenza dello stato di conservazione degli elementi mediante tecniche di indagine dirette e maggiormente invasive.

Tenuto conto che la difettosità più grave e ricorrente per i ponti in c.a.p. a cavi post-tesi è legata alla possibile presenza di vuoti all'interno delle guaine di alloggiamento dei cavi, che può favorire la raccolta ed il ristagno d'acqua responsabili dell'insorgere di pericolosi fenomeni corrosivi, risulta indispensabile procedere con *indagini endoscopiche* e *prove vacuometriche*, per verificare la presenza della malta di iniezione e di eventuali fenomeni ossidativi dei cavi e per quantificare il volume dei vuoti, ove presenti. Ove necessario, è possibile procedere a saggi localmente distruttivi, con rimozione del calcestruzzo e della guaina ed esame dello stato dei fili (conteggio dei fili interrotti e valutazione della riduzione di sezione e dello stato di tensione negli altri), nonché a prelievo di campioni del materiale di iniezione su cui eseguire prove chimiche per determinarne composizione e presenza di umidità e cloruri. I saggi devono essere condotti nelle sezioni critiche a momento e taglio e nelle zone ove si sono manifestati i difetti tipici. Si suggerisce, inoltre, di indagare mediante sondaggi diretti con asportazione della malta di protezione le testate di ancoraggio dei cavi, in modo da valutare visivamente e direttamente lo stato di conservazione dei vani di ancoraggio e dei cavi di acciaio.

Il rilevamento precoce della corrosione nei cavi di precompressione assume grande rilevanza nella valutazione della sicurezza delle strutture in esercizio ed è quindi oggetto di estensive ricerche e sperimentazioni nel campo dei metodi non distruttivi. E' pertanto necessario che i soggetti incaricati delle ispezioni siano costantemente aggiornati sui relativi sviluppi.

Qualora le indagini evidenzino fenomeni di difettosità rilevanti e perdite di efficienza dei cavi di precompressione significative, o nel caso in cui si ritenga che le ispezioni speciali non siano sufficienti a stimare con adeguato grado di affidabilità lo stato di conservazione generale dell'opera, è necessario ridefinire la Classe di Attenzione dell'opera in Alta e procedere immediatamente con le verifiche accurate di Livello 4 di cui al § 6.

7.4.3.2 Scalzamento delle pile e delle spalle

Lo scalzamento è una delle più frequenti cause di dissesto e collasso dei ponti con pile o spalle in alveo non adeguatamente protette. Il fenomeno è particolarmente insidioso poiché l'escavo del materiale circostante la fondazione è massimo in condizioni di piena ma in seguito si possono verificare fenomeni di deposizione di materiale fine sciolto che non rendono osservabile l'effetto dell'escavo ad una ispezione soltanto visiva.

E' raccomandato che ispezioni dettagliate, anche subacquee, vengano eseguite periodicamente, nel corso delle ispezioni ordinarie o straordinarie, e comunque a seguito di eventi di piena anche non eccezionali dei corsi d'acqua attraversati. Le ispezioni subacquee possono essere eseguite da sommozzatori o con ROV appositamente attrezzati e comandati dalla superficie.

Ispezioni visive accurate si rendono necessarie anche per la valutazione di fenomeni di alluvionamento, in particolare successivamente ad eventi di piena anche non eccezionali, con riferimento alla riduzione delle sezioni idrauliche.

Nel corso delle ispezioni è opportuno estendere l'indagine alle protezioni spondali, agli argini e alle opere di laminazione e/o di controllo delle portate liquide e solide in prossimità del ponte.

Il controllo del fenomeno dello scalzamento e alluvionamento è inserito tra gli obiettivi dei sistemi di monitoraggio permanente dei ponti di Classe di Attenzione Medio-Alta o Alta per elevato rischio idraulico.

7.4.3.3 Allontanamento delle acque di piattaforma

Come già evidenziato nel § 3.2, i sistemi di allontanamento delle acque di piattaforma devono essere oggetto di specifica attenzione nella conduzione delle ispezioni, in particolare in corrispondenza dei giunti di testata, di quelli posti al di sopra di selle Gerber o di altri particolari costruttivi difficilmente ispezionabili e manutenibili. È infatti da ricordare che il prolungato disordine delle reti di allontanamento delle acque di piattaforma è responsabile di gran parte del degrado sia in strutture in cemento armato che in strutture in acciaio, anche per quanto riguarda gli apparecchi di appoggio.

7.5 PROVE DI CARICO STATICHE E RILIEVI DINAMICI

Prove di carico statiche e rilievi della risposta dinamica possono essere eseguiti in concomitanza con le ispezioni straordinarie o indipendentemente da esse, qualora se ne ravvisi l'opportunità o la necessità, ad esempio a seguito di interventi di manutenzione straordinaria anche qualora il collaudo non fosse richiesto dalla normativa.

Lo scopo di queste prove è duplice: da un lato, esse consentono di porre a confronto i valori di spostamenti e deformazioni ovvero delle caratteristiche dinamiche ottenuti dalle misure con i risultati di modelli numerici per una loro validazione sperimentale e, dall'altro, di aggiornare i parametri dei modelli ai risultati delle prove per renderli aderenti al comportamento reale delle strutture.

e poterli in tal modo utilizzare per interpretare eventuali anomalie riscontrate nel corso delle ispezioni o del monitoraggio strumentale. Esse sono anche utili ad accrescere l'affidabilità del modello dell'opera nell'effettuazione delle verifiche accurate di Livello 4, come previsto al § 6.3.3.4.

Le prove di carico statiche e i rilievi dinamici devono essere eseguiti sulla base di un progetto di prova redatto dal soggetto incaricato e concordato con il gestore. Le prove devono essere compiutamente documentate in rapporti, inclusivi del progetto, da memorizzare nel BMS e rendere accessibili attraverso il codice identificativo dell'opera.

Di per sé, le prove statiche o dinamiche condotte occasionalmente non forniscono, salvo casi particolari, informazioni direttamente utilizzabili per valutare la sicurezza della struttura ovvero per identificare danneggiamenti di carattere strutturale ma, tuttavia, costituiscono un valido supporto nei processi di valutazione dello stato di condizione di un manufatto basati sull'integrazione con esse dei risultati del monitoraggio. Si fa anche riferimento al § 6.3.5.5.

7.5.1 PROVE DI CARICO STATICHE

Le prove di carico possono essere eseguite in analogia con quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni al § 9.2 relativamente al collaudo delle opere, con le seguenti precisazioni:

- il carico di prova deve essere rapportato al carico originario di progetto ovvero ai carichi effettivi che possono gravare sul ponte;
- la risposta della struttura, in termini di spostamenti, rotazioni e deformazioni, è confrontata con la risposta teorica, determinata attraverso modelli attualizzati della struttura che tengano conto del degrado o del danneggiamento nonché delle variazioni di temperatura e delle condizioni atmosferiche intervenute nel corso della prova;
- il carico di prova può essere rapportato ai valori prescritti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni solo nel caso in cui il calcolo dimostri preliminarmente la capacità della struttura di sopportarlo con adeguato margine di sicurezza.

Prima dell'esecuzione della prova si raccomanda l'esecuzione di una accurata verifica della corrispondenza fra i difetti rilevati nell'ispezione immediatamente precedente e lo stato attuale. Si raccomanda in particolare la verifica del buon funzionamento degli apparecchi di appoggio.

Il carico di prova deve essere applicato gradualmente, in successivi cicli di carico-scarico, fino al valore di prova e mantenuto in ogni situazione di carico per un tempo sufficiente a stabilizzare le letture degli strumenti di misura. L'applicazione dei carichi deve essere interrotta qualora si manifestassero deviazioni dal comportamento lineare carico-spostamento ovvero apparissero lesioni, anche minime, alla superficie delle parti strutturali o si riscontrasse qualsiasi altro comportamento anomalo. A seguito di tali avvenimenti devono essere eseguite indagini di dettaglio e verifiche di sicurezza e di transitabilità. Gli spostamenti residui devono risultare inferiori al 5% dei valori massimi.

Le misure di spostamento, rotazione e deformazione devono essere effettuate con idonea strumentazione a contatto o remota in punti significativi della struttura ai fini del confronto con i valori teorici e di una loro corretta interpretazione.

Si consiglia di includere fra le grandezze fisiche misurate anche la temperatura dell'aria esterna e in parti significative della struttura, nonché dell'umidità relativa, allo scopo di effettuare le necessarie compensazioni. Ove rilevante, si raccomanda altresì la misura della velocità e della direzione del vento. La misura di tali grandezze e le loro variazioni nel corso della prova devono essere riportate nel rapporto, assieme ad ogni altra informazione concernente le condizioni ambientali in cui si è svolta la prova stessa.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.5.1.1

Si ricorda che, nelle prove di carico statico, risulta di fondamentale importanza la conoscenza della risposta del ponte con la variazione dei parametri ambientali, quali, ad esempio, la temperatura.

7.5.2 RILIEVI DELLA RISPOSTA DINAMICA

In alternativa o in congiunzione con le prove di carico statiche possono essere condotti anche rilievi della risposta dinamica alle vibrazioni ambientali e al transito dei veicoli. L'uso di vibrodine è da considerarsi limitato a manufatti di piccola dimensione.

I rilievi dinamici devono essere condotti in conformità alla norma UNI 10985 *Vibrazioni su Ponti e Viadotti. Linee Guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici* e alle norme ISO 14963:2003 *Mechanical Vibration and Shock – Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts* e ISO 18649:2004 *Mechanical Vibrations – Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges*.

Il rilevamento della risposta dinamica può essere effettuato con sensori di velocità, accelerazione, deformazione e spostamento (rotazione). Sono altresì possibili applicazioni della vibrometria laser, mentre per strutture con periodi propri molto grandi è possibile utilizzare sensori satellitari di posizione (stazioni GPS) per ottenere storie temporali di spostamento.

Si sottolinea che una corretta interpretazione della risposta ai fini della caratterizzazione della struttura richiede un numero e posizione dei sensori nonché una frequenza di lettura e tempi di osservazione tali da consentire l'identificazione di un congruo numero di frequenze proprie e di modi.

La determinazione delle proprietà dinamiche sperimentali della struttura può essere condotta con tecniche OMA (*Operational Modal Analysis*), verificandone l'applicabilità ai segmenti di registrazione utilizzati. L'identificazione dinamica può essere condotta utilizzando storie temporali di accelerazione o di spostamento/deformazione. Le metodologie software impiegate per il trattamento delle registrazioni ed i relativi risultati devono essere accuratamente documentati nel rapporto di prova.

E' necessario il rilevamento delle temperature e delle altre condizioni meteorologiche durante l'esecuzione della prova e che le relative misurazioni siano riportate nel rapporto.

L'eventuale confronto fra rilievi dinamici condotti in tempi diversi deve tener conto delle condizioni ambientali eventualmente diverse, della posizione, della tipologia e del numero dei sensori impiegati nelle diverse campagne di misura. Nel caso sia prevista una ripetizione periodica delle misure dinamiche, è quindi opportuno che i sensori vadano posizionati sempre negli stessi punti.

Le metodologie OMA non richiedono la conoscenza dell'eccitazione di ingresso, che viene assunta essere un rumore bianco. Tuttavia, per migliore interpretazione dei risultati è consigliabile predisporre per il periodo di prova un rilevamento dei transiti con sistemi *weigh-in-motion* abbinati a telecamere.

Le proprietà dinamiche sperimentali sono confrontate con quelle teoriche derivate da modelli analitici o numerici, interpretando le eventuali differenze. Le prove dinamiche occasionali hanno lo scopo primario di consentire l'attualizzazione dei modelli numerici, tenendo tuttavia conto dell'influenza dei parametri ambientali. Come più ampiamente discusso nel § 7.6, dedicato al monitoraggio strumentale, le prove dinamiche occasionali nella maggior parte dei casi pratici non consentono, da sole, di identificare in modo affidabile eventuali stati di danno strutturale.

7.6 MONITORAGGIO STRUMENTALE (SHM)

7.6.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Le metodologie di monitoraggio strumentale (*Structural Health Monitoring*) si basano sull'installazione per periodi di tempo abbastanza lunghi (diversi mesi o anni) o per l'intera vita operativa di una struttura, di reti di sensori gestiti da sistemi hardware/software che consentono di acquisire i dati provenienti dai sensori e di elaborarli in modo automatico o semiautomatico, identificando attraverso opportuni algoritmi la presenza di malfunzionamenti. In tal modo, il sistema composto dalla struttura e dall'impianto SHM si può pensare comportarsi come un sistema "intelligente", cioè capace di funzioni di autodiagnosi e di trasmissione di "messaggi" nei confronti di un operatore umano. Come ben noto, tali metodologie hanno avuto grande sviluppo nel campo dell'industria aeronautica e meccanica e negli ultimi due decenni stanno trovando importanti applicazioni anche nel settore dell'ingegneria delle infrastrutture.

In questo settore, l'interesse principale risiede nella potenziale capacità dei sistemi SHM di identificare stati di danno strutturale o malfunzionamenti delle dotazioni ausiliarie in modo precoce e quindi maggiormente affidabile rispetto alle tradizionali operazioni di sorveglianza, che si basano in prima istanza sull'osservazione visiva dei difetti. In altre parole, le aspettative nei confronti delle tecnologie SHM risiedono nel fatto che l'impianto installato sia capace di consentire una tempestiva segnalazione dei difetti o addirittura di situazioni pericolose ben prima che queste producano manifestazioni evidenti. In realtà, ciò non è sempre possibile e comunque richiede, anche nei casi meno complessi, lunghi periodi di osservazione che precedano il possibile manifestarsi di un evento rilevabile. Comunque detti sistemi possono ritenersi efficaci qualora inseriti in un processo di analisi e gestione dei dati anche capace, ove necessario, di determinare immediati provvedimenti di restrizione del traffico attuabili anche attraverso idonee apparecchiature di interdizione del traffico.

Tuttavia, mentre l'utilità di un impianto di monitoraggio per il controllo dell'evoluzione di un fenomeno già in atto (ad esempio cedimenti fondazionali, lesioni o movimenti di frana) è più facilmente comprensibile e, oltretutto, corrisponde ad approcci tradizionali e consolidati, il vantaggio in termini di efficienza e di affidabilità dell'implementazione di un sistema SHM come supporto stabile e sistematico alla gestione delle infrastrutture civili tarda ad essere riconosciuto, per ragioni oggettive e ragioni culturali.

A differenza dei sistemi industriali, realizzati attraverso processi standardizzati in grandi serie di esemplari di caratteristiche identiche, le strutture civili rappresentano ciascuna un caso a sé stante, anche se realizzate con un medesimo progetto, e quindi ad esse non sono applicabili approcci unificati a livello globale. La "personalizzazione" dei sistemi SHM ad ogni specifico caso è pertanto una condizione necessaria per il loro successo.

Le tecnologie coinvolte nel monitoraggio strumentale sono profondamente interdisciplinari e quindi la loro diffusione dipende dalla sensibilità del contesto tecnico-scientifico verso conoscenze diverse da quelle della matrice culturale di origine e dall'attitudine più o meno grande ad assimilarne il contenuto di innovazione.

Ciononostante, la necessità di tenere sotto controllo il comportamento delle moderne strutture di grande dimensione e tecnologicamente molto complesse nonché la consapevolezza dei limiti degli approcci tradizionali alla sorveglianza delle opere d'arte che in altri Paesi, prima che nel nostro, si sono manifestati con gravi incidenti, hanno motivato la comunità tecnico-scientifica alla ricerca ed alla realizzazione di sistemi SHM adatti alle esigenze del settore infrastrutturale civile.

I fenomeni di degrado delle strutture civili sono nella normalità molto lenti e poiché le tecnologie SHM si sono sviluppate in tempi molto recenti e sono state principalmente applicate su ponti e edifici di nuova costruzione ad oggi non si dispone ancora di una completa evidenza sperimentale delle loro capacità di diagnosi precoce. Tuttavia, il numero delle applicazioni è in costante crescita

in tutta Europa e nel mondo soprattutto in Oriente e negli Stati Uniti, e importanti iniziative di ricerca coordinata dedicate ai più diversi aspetti teorici e applicativi della metodologia sono ovunque in corso, con risultati di notevole interesse.

Ciò premesso, nel seguito sono presentate alcune indicazioni specifiche per il monitoraggio strumentale dei ponti con riferimento a due strategie, non necessariamente alternative, di monitoraggio: il monitoraggio occasionale o periodico, di durata relativamente breve ed eventualmente ripetuto con regolarità, ed il monitoraggio permanente, che invece è concepito per rimanere funzionante a lungo sino a coprire l'intera vita dell'opera. Le indicazioni fornite sono da intendersi complementari rispetto ai contenuti generali del documento UNI TR 11634:2016 *Linee Guida per il monitoraggio strutturale*, cui si farà utile riferimento. Tra le raccomandazioni di carattere generale qui si anticipa, in via preminente, che un sistema di monitoraggio deve essere definito negli obiettivi, concepito, progettato e gestito in funzione delle specifiche problematiche che caratterizzano la struttura ed il suo contesto. Tali problematiche, e quindi le funzioni che il sistema è chiamato ad assolvere, non possono che essere individuate, e quindi valutate nel corso dell'esercizio del sistema, da chi svolge le attività di sorveglianza e/o dai progettisti degli interventi di manutenzione o di nuova costruzione, secondo idonee specifiche procedure.

Va inoltre ricordato che i sistemi di monitoraggio del tipo in oggetto, per fornire informazioni utili alla gestione, necessitano di un periodo cosiddetto di *training*, la cui durata varia in funzione del problema e del sito, in cui lo stato di condizione della struttura è considerato stabile (stato di riferimento) e che ha lo scopo di consentire la costruzione di algoritmi e modelli predittivi sulla base dei quali potranno, in seguito, essere riconosciute anomalie comportamentali di parametri associabili alla presenza di degrado o danneggiamento. Analogamente, il riconoscimento di un'anomalia comportamentale e la sua eventuale associazione ad uno stato di danneggiamento del sistema richiedono un periodo di osservazione successivo al verificarsi di un livello di danno di entità rilevabile. La lunghezza del periodo di osservazione e l'entità del danno rilevabile dipendono a loro volta dalla natura del problema, dalle caratteristiche ambientali del sito e dagli algoritmi utilizzati.

Infine, tra i vantaggi dell'applicazione di tecniche SHM va evidenziato il fatto che le informazioni da essi ottenute possono orientare le ispezioni ordinarie e straordinarie, riducendone l'impegno e possono consentire di eseguirle in modo mirato. In ogni caso, la selezione della strategia di monitoraggio più opportuna può essere condotta in base ad analisi costo-beneficio, tenendo conto del valore delle informazioni sul comportamento delle strutture prodotte dal monitoraggio; esse infatti conducono a riduzioni delle incertezze di natura epistemica e alla caratterizzazione di fenomeni non altrimenti quantificabili o non conosciuti.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.6.1.1

Si ricorda che la progettazione dell'architettura di un sistema di monitoraggio strumentale, in generale, tiene conto anche dei seguenti aspetti:

1. *scenario potenziale di danno da monitorare*: lo scenario di danno da monitorare deve essere definito in base alla tipologia strutturale, al materiale da costruzione, allo schema statico della struttura (isostatico, iperstatico) e al contesto ambientale e operativo in cui essa si trova. Questo include la comprensione dei potenziali meccanismi di degrado e delle condizioni che possono influenzare la salute strutturale dell'opera nel tempo;
2. *indicatore di Vulnerabilità*: l'indicatore di vulnerabilità indica quel parametro fisico relativo alla struttura che è relazionabile ad uno scenario di danno. Ad esempio, uno scenario di degrado può essere associato alla perdita di rigidità di una o più parti della struttura (parametro di vulnerabilità). Ad uno scenario di danno possono corrispondere uno o più indicatori di vulnerabilità;
3. *indicatore di danno*: l'indicatore di danno è un parametro misurabile (direttamente o indirettamente attraverso una elaborazione di dati misurati) tramite il sistema di monitoraggio, le cui variazioni possono essere correlate a possibili danni nella struttura. Gli indicatori di danno possono includere spostamenti, deformazioni, frequenze naturali, variazioni di impedenza, o altri parametri (fisici o non) che, quando monitorati, forniscono informazioni sullo stato di integrità della struttura;
4. *sensore*: il sensore è il dispositivo che consente la rilevazione del dato fisico, che viene poi convertito in un indicatore di danno attraverso tecniche di elaborazione dati appropriate. I sensori devono essere selezionati in base alla loro precisione, sensibilità, robustezza e idoneità per l'ambiente operativo specifico. Esempi di sensori utilizzati nei sistemi di monitoraggio strumentale delle strutture includono accelerometri, estensimetri, sensori di temperatura e umidità, e sensori a fibra ottica, per citarne soltanto alcuni.

Il sistema di monitoraggio ad acquisizione in automatico dei dati può essere organizzato seguendo approcci diversi basati sull'elaborazione diretta dei dati, sui modelli, su modelli di affidabilità strutturale, che si differenziano per finalità e strumenti operativi, come anche indicato nel documento recante "*Criteri per la valutazione dei piani di monitoraggio dinamico per il controllo da remoto di ponti viadotti e gallerie previsti dal piano nazionale complementare al PNRR*", costituente allegato 3 alla Circolare di ANSFISA prot. n. 26057 del 15.06.2022.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.6.1.2

Si ricorda che le attrezzature e le strumentazioni impiegate per il monitoraggio strumentale devono essere idonee, periodicamente controllate e soggette sia ad un programma periodico di verifica della taratura che ad un piano di manutenzione che ne garantiscano l'efficienza operativa. Il programma di controllo, manutenzione e taratura di ciascuno strumento deve essere documentato, anche con riferimento alle specifiche o norme tecniche rispettivamente applicabili, e commisurato alle tipologie ed alle caratteristiche di impiego dei diversi dispositivi. Infine, si rappresenta che la Circolare 3 dicembre 2019, n. 633/STC (*Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti di cui all'art. 59, comma 2, del D.P.R. n. 380/2001*) include il "monitoraggio delle strutture" fra le prove facoltative delle quali i laboratori possono essere autorizzati a certificare i risultati ai sensi dell'articolo 59 del DPR 380/01.

7.6.2 MONITORAGGIO OCCASIONALE E PERIODICO

Il monitoraggio occasionale consiste nell'installazione di un sistema SHM per una durata limitata (da alcuni mesi ad alcuni anni) ed eventualmente nel ripetere l'installazione ad intervalli più o meno regolari di tempo (monitoraggio periodico). Tale strategia è raccomandabile nei seguenti casi:

- Interventi di manutenzione straordinaria o adeguamento: è raccomandata l'installazione di sistemi strumentali prima, durante e dopo l'intervento per valutarne l'efficacia;
- Studio del comportamento di tipologie strutturali ripetitive;
- Situazioni al contorno di natura transitoria (ad esempio studio del comportamento dei versanti in vista di interventi preventivi di stabilizzazione);
- Analisi di fenomeni di degrado/danneggiamento anomali (per i quali è necessario comprendere, ad esempio, cause e natura evolutiva) e situazioni di rischio elevato (ad esempio: ponti con Classe di Attenzione Alta e Medio-Alta).

La finalità del monitoraggio occasionale è quella di acquisire informazioni su fenomeni di degrado o di dissesto la cui presenza sia nota e di cui sia necessario studiare le tendenze evolutive ovvero determinarne le cause attraverso la correlazione fra i parametri di comportamento.

L'installazione dei sistemi del tipo in oggetto è particolarmente indicata nei casi finalizzati allo studio di una fenomenologia già nota ed osservata nel corso delle ispezioni.

Le tipologie di sensori adatti allo scopo sono assai varie, sia per applicazioni strutturali che per applicazioni geotecniche e ambientali; analogamente si può affermare per quanto riguarda gli strumenti di acquisizione e trasmissione dei dati. Per questi impieghi (temporanei) si utilizzano in genere sensori e apparati di misura con trasmissione del dato digitalizzato in modalità *wireless*, che risultano di più veloce installazione, anche in ambienti difficili. E' frequente l'impiego di apparecchi topografici robotizzati e di tecnologie laser e radar, per la misura degli spostamenti. Sono altresì disponibili piattaforme multisensoriali integrate, con trasmissione *wireless* o cablata, che forniscono in genere misure estensimetriche, di temperatura e di accelerazione e sono equipaggiate con microprocessori che possono provvedere funzioni anche complesse di sincronizzazione dei tempi, di memorizzazione e di pretrattamento dei dati misurati.

I software di gestione sono prevalentemente installati in elaboratori industriali portatili situati a distanza utile per la ricezione dei segnali in modalità *wireless* e che possono essere collegati ad un sistema remoto per la memorizzazione definitiva ed il processo mediante i comuni standard di trasmissione dati via telefonia cellulare. L'unità di elaborazione può essere alimentata a rete o con pannelli solari. I software di gestione commercialmente disponibili possono essere personalizzati in modo flessibile e possono generare e trasmettere messaggi di attenzione e allarme in tempo reale in base a limiti predefiniti dei valori delle misure fornite dai sensori. La frequenza di acquisizione va definita in funzione dalle caratteristiche del fenomeno che si vuole caratterizzare.

Rientrano in questa strategia i monitoraggi dinamici occasionali o periodici. In questo caso, fermo restando quanto già discusso a proposito delle prove dinamiche, per una corretta interpretazione dei risultati delle misure dinamiche periodiche ai fini dell'identificazione della condizione strutturale, è raccomandato che esse siano integrate con misure di altre grandezze fisiche (ad esempio spostamenti e deformazioni) significative per i fenomeni in esame. I valori delle frequenze sperimentali devono sempre essere compensati per la temperatura ad ogni campagna di acquisizione.

I risultati del monitoraggio devono essere opportunamente analizzati, riportati e valutati in una serie di rapporti periodici ed in un rapporto conclusivo contenente le valutazioni sullo stato di condizione e le raccomandazioni per le azioni conseguenti. Tutti i rapporti dovranno essere registrati nel BMS. I dati di origine sono anche conservati *off-line* per gli usi successivi. Possono essere considerati idonei sistemi di acquisizione, analisi e valutazione immediata, capaci di fornire tempestivi avvisi circa il raggiungimento di predefiniti valori di allarme.

7.6.3 MONITORAGGIO PERMANENTE O CONTINUO

L'adozione di una strategia di monitoraggio permanente, in cui il sistema hardware/software è concepito per rimanere operativo per lunghi periodi sino a coprire tutta la vita di servizio di una struttura, realizza compiutamente gli scopi dello *Structural Health Monitoring* e dell'integrazione a scala completa con le attività di sorveglianza. Esso è tuttavia più complesso e richiede idonee e specifiche procedure operative di gestione e di qualificazione del personale coinvolto.

Il monitoraggio continuo, con sistemi installati permanentemente, è raccomandabile nei seguenti casi:

- Ponti strallati o sospesi e ponti di grande luce (> 200 m).
- Ponti con campate di luce superiore ai 50 m in c.a.p. realizzati da più di 40 anni.
- Ponti con difficoltà di ispezione (travate a cassone e pile non ispezionabili) in c.a.p. o acciaio.
- Ponti con soluzioni strutturali innovative.
- Ponti di rilevanza storica.
- Ponti in ambienti critici, caratterizzati da elevati carichi da traffico (ad esempio frequente transito di trasporti eccezionali), con problematiche di fatica, in zone ad alto rischio sismico o con situazioni al contorno critiche, quali rischio inondazioni e frane elevato o ponti per i quali possono avere grande rilevanza fenomeni accidentali, quali urti o simili (per i quali, evidentemente, la Classe di Attenzione è evoluta o può evolvere in senso negativo, sino alla CdA Medio-Alta o Alta).

Nella progettazione dei sistemi di monitoraggio riguardanti i ponti deve essere posta particolare attenzione ai problemi di durabilità, robustezza e manutenibilità dei sensori e delle apparecchiature elettroniche di acquisizione e trasmissione dei dati. In particolare, devono essere considerati attentamente i seguenti aspetti:

- architettura del sistema,
- ridondanza e flessibilità della rete dei sensori,
- accuratezza del sistema di misura e affidabilità dei processi di trattamento dei dati,
- alimentazione, tipicamente a rete, delle apparecchiature elettroniche di acquisizione,
- affidabilità e insensibilità ai disturbi elettromagnetici degli apparati e delle linee di trasmissione dati,
- frequenze di acquisizione dei diversi dati,
- dimensione delle basi dati contenenti le misure e algoritmi di gestione dati (*big data*).

Per la selezione delle componenti hardware e software, si raccomanda di seguire le indicazioni delle Linee Guida UNI TR 11634. Per ragioni di durabilità e insensibilità ai disturbi elettromagnetici sono in generale da preferire tecnologie a fibra ottica. La disponibilità di tecnologie sensoristiche per misure a contatto o remote è comunque amplissima e non esistono significativi limiti pratici per la misura delle grandezze di interesse.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.6.3.1

Si chiarisce i sistemi a fibra ottica rappresentano una delle tipologie di sensori da adottare nei sistemi di monitoraggio. Al riguardo, si ricorda che la scelta della tecnologia di sensore più appropriata, deve essere basata su una valutazione dettagliata delle specifiche esigenze e delle condizioni operative.

Nelle Linee Guida UNI TR 11634 sono altresì contenute indicazioni per l'analisi e l'interpretazione dei dati nonché per il loro utilizzo ai fini della determinazione dello stato di condizione delle strutture e della taratura dei modelli numerici statici e dinamici.

ISTRUZIONE OPERATIVA 7.6.3.2

Si ricorda che ulteriori indicazioni generali sui criteri per la valutazione dei piani di monitoraggio sono disponibili nel documento recante "*Criteri per la valutazione dei piani di monitoraggio dinamico per il controllo da remoto di ponti viadotti e gallerie previsti dal piano nazionale complementare al PNRR*", costituente allegato 3 alla Circolare di ANSFISA prot. n. 26057 del 15.06.2022.

I sistemi di monitoraggio possono essere integrati nei sistemi di comunicazione per la gestione della rete e delle funzioni di raccolta e archiviazione dei dati nei relativi centri di controllo. I risultati del monitoraggio devono essere analizzati periodicamente, anche in occasione dell'eventuale transito di carichi eccezionali, e riportati in rapporti, almeno annuali, che descrivano altresì lo stato del sistema di monitoraggio e le azioni conseguenti. Tutti i rapporti devono essere registrati, con modalità che garantiscano sicurezza e inalterabilità, nel BMS e resi accessibili attraverso il codice identificativo del ponte. I dati delle misure in forma originale ed eventualmente in forma ridotta devono essere conservati nell'elaboratore centrale di governo e processo del sistema (o dei sistemi) SHM e resi disponibili al BMS attraverso funzioni di interfaccia. Detti rapporti devono essere utilizzati ai fini della determinazione della Classe di Attenzione attuale, § 7.7.3.

Nel seguito sono riportate alcune considerazioni relativamente alle applicazioni più tipiche.

Monitoraggio strutturale

Nella concezione di sistemi per il monitoraggio strutturale, si sottolinea l'opportunità di considerare l'installazione delle seguenti tipologie di sensori:

- Stazioni meteorologiche;
- Sistemi WIM (*Weigh-in-Motion*);
- Sensori per il controllo dei fenomeni di corrosione;
- Sensori di spostamento/rotazione, deformazione, accelerazione, temperatura e umidità relativa;
- Sensori di irraggiamento (piranometri);
- Sensori per il controllo dei fenomeni di scalzamento delle pile.

Per il rilevamento degli spostamenti assoluti (cioè rispetto ad un riferimento fisso) possono essere utilizzati sensori satellitari GPS o per altra costellazione geostazionaria, ove visibile. In via sperimentale possono essere impiegati metodi di rilevamento satellitare con tecnica SAR (metodo dei *permanent scatterers* o con riflettori) purché siano presenti anche sensori tradizionali a contatto o remoti terrestri per la convalida dei dati.

E' raccomandato di combinare sempre il rilievo della risposta dinamica con quello della risposta statica.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati provenienti dalle misure della risposta dinamica, che sono acquisiti in vario modo (attivati da *trigger* e/o programmati a prefissati intervalli di tempo), ai fini dell'identificazione del danno si rimanda alle citate Linee Guida UNI e ai consolidati riferimenti tecnici disponibili. Si ricorda soltanto che non tutte le caratteristiche dinamiche della struttura determinate attraverso le misure sono sensibili al danno e soprattutto non lo sono nello stesso modo. Allo stato attuale delle ricerche e delle applicazioni, si considerano fra i più sensibili al danno lo smorzamento modale, le forme modali (modi superiori) e loro derivate, la densità spettrale di potenza (PSD) e i modi delle deformazioni, cioè i modi derivati dalle storie temporali delle deformazioni anziché dalle accelerazioni. E' possibile costruire in forma automatica l'andamento nel tempo della PSD (scattergramma) per porne in evidenza le eventuali anomalie.

Per la valutazione del danno a fatica nei ponti metallici, si utilizzano in genere l'algoritmo del flusso di pioggia (*rain flow count*) e la regola di Miner-Palmer.

Monitoraggio sismico

Per i ponti in zona sismica oggetto di monitoraggio continuo, devono essere installati, oltre ai sensori collocati sulla struttura, accelerometri con idonee caratteristiche dinamiche per il rilevamento del moto al suolo in corrispondenza delle spalle e almeno uno di riferimento in posizione lontana dal ponte; per viadotti di lunghezza notevole (oltre 1 km), è necessario il posizionamento di accelerometri al suolo in corrispondenza di posizioni intermedie significative. L'acquisizione nella memoria degli accelerometri è attivata da trigger e successivamente i dati sono trasferiti all'elaboratore di processo del sistema SHM.

Si osserva che il monitoraggio continuo è l'unica strategia che permette la registrazione della risposta della struttura sotto l'effetto del sisma. Prove statiche e dinamiche o monitoraggi strumentali attivati in seguito all'evento, anche se potrebbero rivelare danneggiamenti subiti dalla struttura mediante il confronto con informazioni eventualmente già disponibili, non ne consentirebbero una caratterizzazione sismica completa.

Monitoraggio geotecnico

Ove se ne manifesti l'opportunità, potranno essere installati strumenti per il monitoraggio continuo dei movimenti delle fondazioni delle pile, delle spalle e dei terreni interessati, integrati nel sistema principale.

Anche per tali applicazioni sono disponibili ampie tipologie di strumentazione e sensori adatti all'integrazione in sistemi SHM.

Monitoraggio idraulico

Per i ponti soggetti a rischio idraulico, dovrà essere valutata la necessità di installare lungo i corsi d'acqua attraversati ed in prossimità del ponte sezioni di misura di velocità, portata e livello idrico, eventualmente con segnalazioni automatiche di allarme e comunque interfacciati con il sistema principale, e correlate a stazioni meteorologiche. Si renderà inoltre necessario attivare specifici sistemi di rilevamento per la verifica dell'efficienza delle opere di confinamento e di controllo delle portate nelle zone in prossimità del ponte.

Monitoraggio dei versanti naturali e artificiali coinvolgenti ponti

Per i ponti soggetti a rischio di franamento dei versanti, deve essere valutata l'opportunità di installare sistemi per il monitoraggio delle zone in frana potenzialmente incidenti sul ponte, eventualmente con segnalazioni automatiche di allarme e comunque interfacciati con il sistema principale.

L'accertamento delle possibili interferenze di un potenziale evento franoso o di una instabilità in atto non può non prescindere dalla modellazione dell'evento di frana in termini tridimensionali, definendo tipologie di movimento, cinematismi e possibili evoluzioni temporali. Di fatto da tali definizioni scaturiscono gli elementi fondamentali che consentono di delineare le caratteristiche dei sistemi di monitoraggio e, eventualmente, di segnalazione. Infatti, il processo di sviluppo dell'instabilità di un versante naturale non è generalizzabile; ciascun tipo di frana ha il proprio meccanismo di innesco determinato da fattori di influenza, modalità e tempi anche molto differenziati. Da ciò deriva che ogni singola instabilità ha la sua storia evolutiva, con fasi

che variano da estremamente rapide (es: crolli e ribaltamenti di frane in roccia, colate) a estremamente lente (es: creep di versanti argillosi) e che sono funzione della natura dei terreni/rocce interessate e delle caratteristiche degli agenti instabilizzanti. Riguardo questi ultimi, si evidenzia che la valutazione dei fattori predisponenti è fondamentale al fine di valutare sia la suscettibilità di un versante alla frana che - nel caso di instabilità già presenti - le sue modalità di innesco. Di fatto, mentre l'innesco determinante l'evento è generalmente unico e relativamente semplice da individuare dopo che si è verificata l'instabilità, certamente più complessa è la sua previsione dal punto di vista temporale e spaziale. Spesso gli eventi di frana sono collegati ad azioni sismiche o a eventi pluviometrici di specifica intensità e durata, ma inneschi connessi alla riduzione progressiva della resistenza di terreni e rocce sono difficilmente rilevabili e quantificabili.

E' con tali premesse che il progetto di monitoraggio dei pendii instabili o potenzialmente instabili che coinvolgono ponti deve essere affrontato tenendo in stretta considerazione la tipologia di frana e i conseguenti meccanismi cinematici e d'innesco, fondamentali per la realizzazione di un sistema efficiente e funzionale a procedure emergenziali. In riferimento alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni ed alla relativa Circolare Applicativa, il monitoraggio in continuo di versanti naturali interessati da ponti può avere plurimi obiettivi, connessi sia al controllo dell'instabilità in termini di evoluzione sia alla gestione della sicurezza delle strutture presenti. Si rimanda quindi alla richiamata Circolare nonché all'ampia bibliografia esistente sull'argomento (es: *Modern technologies for landslide monitoring and prediction*, Springer Natural Hazards, 2016) per specifici orientamenti, anche operativi. Appare però opportuno evidenziare in questa sede che l'obiettivo preminente del monitoraggio è quello di definire modelli comportamentali del pendio in presenza ed in assenza di manufatti o di opere di stabilizzazione. Di conseguenza è necessaria l'installazione di dispositivi, calibrati in funzione delle tipologie di evento, che permettano di misurare l'evoluzione di grandezze fisiche significative quali spostamenti assoluti e relativi, superficiali e profondi, deformazioni di elementi strutturali, pressioni interstiziali e suzione, da porre in relazione con i dati di natura meteo-climatica.

Come ancora sottolineato da detta Circolare, attenzione deve essere poi posta alla pericolosità dell'evento e, in particolare, alla sua potenziale velocità di esplicazione, parametro di particolare significato nella definizione dei rischi per la vita umana, che dovrà essere garantita da sistemi ben strutturati, affidabili e ridondanti.

7.7 INDICATORI NUMERICI E MODELLI DI DEGRADO

7.7.1 INDICATORI NUMERICI DELLO STATO DI CONDIZIONE

Ferma restando la valutazione degli esiti delle ispezioni di livello 1 di cui al § 3 ai fini della determinazione delle Classi di Attenzione, da effettuarsi secondo la modulistica ed i metodi definiti nei §§ 3 e 4, l'utilizzo dei modelli di schede per le ispezioni ordinarie (Allegato C) può anche consentire di definire, qualora previsto dal Sistema di Gestione della Sicurezza adottato ai fini di una più efficace pianificazione degli interventi e per ciascuno degli elementi ispezionati, un indice numerico globale dalla combinazione dei parametri rilevati (G, k_1 e k_2). In particolare, per ogni tipologia di difetto di cui è stata osservata la presenza, il valore numerico prescelto (prodotto $G \times k_1 \times k_2$) rappresenta una "misura" dell'impatto che quel difetto può avere sulle strategie di manutenzione, mentre la somma dei valori calcolati per tutti i difetti osservati ($\sum_i G_i \times k_{1,i} \times k_{2,i}$) rappresenta la "misura" dello stato di condizione di quell'elemento. Quest'ultimo valore numerico può essere definito "Difettosità relativa" D_R e può essere determinato per ciascun elemento di opera, per gruppi omogenei di essi o per l'intero ponte attraverso rivalutazioni aggregate delle schede, somme pesate, medie, eccetera e quindi essere trasferito a livello di Rete.

E' possibile definire degli indicatori in modo diverso da quanto sopra descritto, se adeguatamente motivato e descritto nelle procedure del Sistema di Gestione della Sicurezza; in ogni caso eventuali diversi indicatori adottati devono:

- fornire una progressione continua o quasi continua dei loro valori numerici in funzione del degrado;
- poter stabilire limiti e intervalli di valori numerici cui associare:
 - corrispondenze con le Classi di Attenzione, allo scopo di attualizzarle periodicamente, come previsto nel § 7.7.3 al fine di aggiornare le basi dati di livello territoriale superiore, ed eseguire le conseguenti azioni da intraprendere, incluse le ispezioni straordinarie, secondo le relative tempistiche di attuazione;
 - soglie di attenzione e allarme;
- poter confrontare fra loro in modo univoco indicatori di elementi o manufatti diversi, onde poter formare delle liste ordinate a fini di classificazione in livelli di priorità, utili per la programmazione degli interventi.

Gli indicatori numerici dello stato di condizione, che in prima istanza sono determinati attraverso le ispezioni ordinarie, devono poi essere tempestivamente aggiornati e corretti sulla base delle risultanze delle ispezioni straordinarie e dei monitoraggi strumentali occasionali, periodici o permanenti (ove presenti) e conseguentemente, devono essere aggiornate le Classi di Attenzione. Tale operazione può essere condotta manualmente sulla base dell'esperienza dei tecnici preposti ma sono altresì applicabili algoritmi di supporto basati sulla simulazione del ragionamento esperto (ad esempio: tecniche di inferenza Bayesiana, Teoria dell'evidenza, eccetera).

E' di particolare rilevanza la questione dei modelli prognostici poiché, mentre gli indicatori numerici dello stato di condizione forniscono una rappresentazione di tale stato in un certo istante di tempo nella vita di servizio dell'opera, i modelli prognostici consentono di formulare previsioni dell'andamento del degrado a breve-medio termine e quindi di fornire preziose informazioni sulla probabile vita operativa residua dell'opera.

Modelli di degrado

I modelli prognostici sono anche denominati modelli di degrado, curve di degrado o modelli di *lifetime* e rappresentano l'andamento nel tempo dell'indice dello stato di condizione. L'uso dei modelli di degrado è vario poiché, oltre a consentire la previsione dell'evoluzione del degrado stesso, essi possono essere utilizzati nella ottimizzazione della pianificazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria (oppure preventiva e correttiva) come descritto nel paragrafo successivo.

I modelli di degrado possono essere definiti per singoli elementi o per l'opera completa, a seconda del tipo di indicatore che si utilizza e, se realizzati sulla base delle osservazioni ottenute dalle ispezioni e dal monitoraggio, rappresentano una previsione degli andamenti attuali dei fenomeni di degrado. Le previsioni a lungo termine sono però affette da notevole incertezza e quindi i valori della vita residua forniti dai modelli possono essere considerati soltanto a titolo indicativo.

Gli andamenti attuali previsti possono essere confrontati con curve di degrado "tipo" derivate da formulazioni teorico-sperimentali o da ampie basi statistiche. Ad esempio, il *Model Code FIB 2010* fornisce formule teorico-sperimentali per alcune fenomenologie di degrado mentre una curva statistica basata sull'osservazione di un grande numero di ponti in cemento armato, e quindi valida per l'opera completa, è fornita in un allegato alla norma UNI EN 16991:2018 *Quadro di riferimento per le ispezioni basate sul rischio* ed è rappresentata nella *Figura 7.2*.

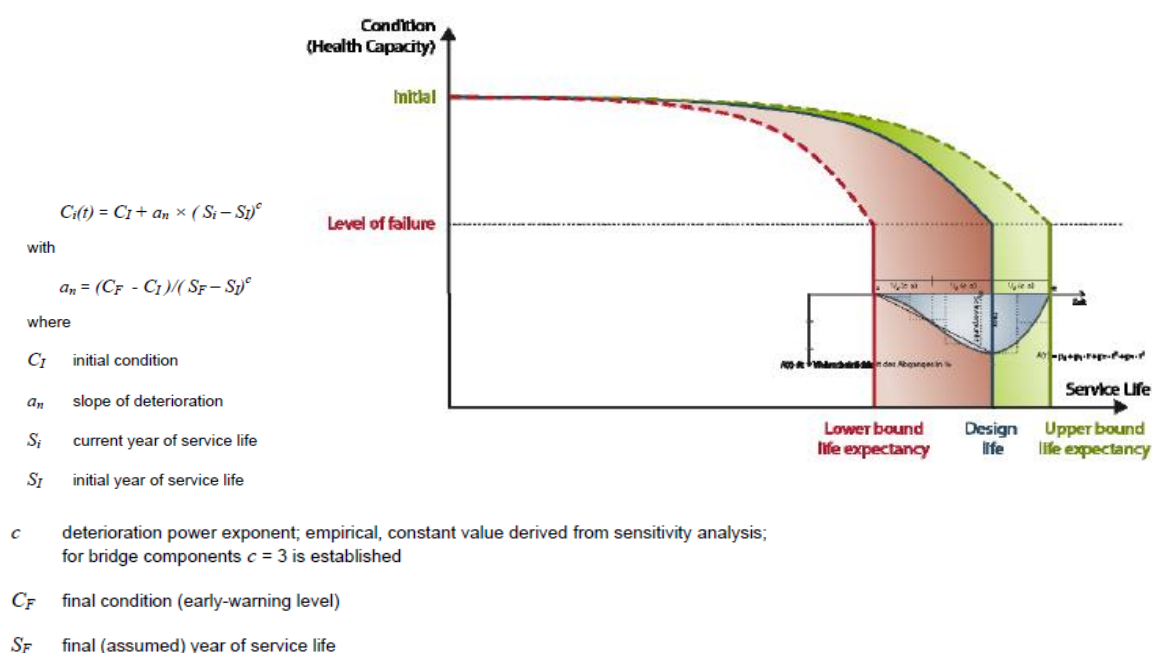


Figura 7.2– Curva di degrado tipica per ponti in cemento armato (UNI EN 16991:2018)

Differenti modelli caratterizzanti il fenomeno di degrado di altri materiali o singole componenti e rappresentabili mediante andamenti più complessi (curve concave, convesse e con flessi) o lineari possono essere reperiti in letteratura. Altri metodi internazionalmente utilizzati² utilizzano invece un modello di tipo Markoviano.

Ricordando che la logica di base dello *Structural Health Monitoring* si articola sul confronto tra due stati (uno stato precedente ed uno attuale, uno stato attuale ed uno stato di riferimento), qualsiasi sia il modello utilizzato (anche per esempio basato su algoritmi più semplici), il confronto tra il valore previsto dell'indicatore e quello attuale comporta l'assunzione di diverse decisioni. Se il valore attuale si mantiene superiore al valore previsto, il confronto è positivo e si può procedere ad un aggiornamento del modello predittivo. Se il valore attuale è inferiore, occorre prima valutare se il degrado della struttura manifesta una qualche anomalia oppure no.

Ad esempio, se il modello rappresentato nella *Figura 7.2* fosse stato ritenuto adottabile come modello tipo, il degrado della struttura può considerarsi normale se il valore attuale e i valori prevedibili a breve-medio termine si mantengono stabilmente all'interno della banda di confidenza, altrimenti si deve procedere ad accertamenti di maggior dettaglio con ispezioni straordinarie, prove

²Considerando ad esempio che la sequenza degli stati di condizione nel tempo sia rappresentabile da un processo Markoviano, per un insieme discreto composto da M stati di condizione il modello fornisce i valori più probabili degli stati di condizione m_{i+n} che un sistema, che si trovi in uno stato di condizione m_i al tempo t_i , può raggiungere ai tempi successivi $t_i + n\Delta t$. Cuore del processo è la conoscenza di una matrice che esprime la probabilità di transizione fra i diversi stati del sistema. Ciò è implementato, ad esempio, nel software *PONTIS* (Federal Highway Administration, USA).

sperimentali, analisi con modelli numerici e, ove disponibili, rianalisi approfondite delle serie temporali dei dati provenienti dai monitoraggi strumentali ed eventualmente procedere ad interventi di manutenzione, previo aggiornamento della CdA, § 7.7.3.

Nel caso più generale, si devono definire preventivamente (ed eventualmente aggiornare con l'aumento della conoscenza dei fenomeni di degrado) delle soglie di attenzione e di allarme come descritto nel § 7.7.2, in corrispondenza delle quali dovranno essere attivate le procedure più opportune. Ad esempio, il raggiungimento o il superamento della sola soglia di attenzione può comportare la ripetizione delle ispezioni e dell'analisi dei dati del monitoraggio, ovvero un aumento della loro frequenza, per verificare se la deviazione dalle risultanze del modello predittivo sia o meno stabile.

L'esecuzione di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria ha lo scopo di migliorare lo stato di condizione dell'opera. Pertanto a seguito di essi la curva di degrado attuale presenterà una discontinuità proporzionale all'efficacia dell'intervento ma in seguito riprenderà a decrescere con una legge eguale oppure diversa da quella precedente.

Una formulazione di modelli di degrado che tenga conto degli effetti degli interventi di manutenzione o di retrofitting può fornire la base per procedure di pianificazione ottimale, come più avanti descritto al § 7.7.4.

7.7.2 SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME

La Figura 7.3 illustra un possibile metodo per la definizione di soglie di attenzione e di allarme. Se lo stato di condizione al tempo t_i sulla curva di degrado attuale evolve al tempo $t_i + \Delta t$ in cui viene effettuata una nuova osservazione ad un valore distante dal valore atteso oltre limiti prefissati, si attiveranno soglie di attenzione o allarme. I limiti possono essere definiti in termini percentuali rispetto al valore atteso oppure, se è data la distribuzione di probabilità dei valori dell'indicatore al tempo $t_i + \Delta t$, da opportuni frattili.

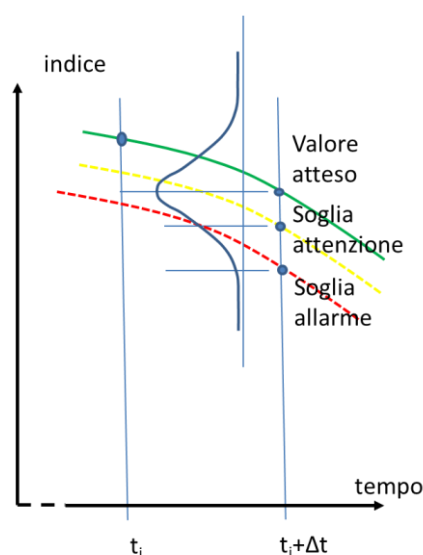


Figura 7.3– Soglie di attenzione e di allarme

7.7.3 AGGIORNAMENTO DELLA CLASSE DI ATTENZIONE

Come già ricordato, in corrispondenza di ogni ispezione straordinaria o dell'accertamento della presenza di un incremento del degrado documentato nei rapporti di analisi periodica dello stato del manufatto, deve essere effettuato un aggiornamento della Classe di Attenzione. Detto aggiornamento può essere condotto ripetendo la procedura descritta nel § 4. Tuttavia, l'adozione di curve di degrado di riferimento consente di definire criteri alternativi di tipo quantitativo, in funzione del valore dell'indice che rappresenta lo stato di condizione, come illustrato in modo del tutto indicativo, esemplificativo e non esaustivo/normativo nella Figura 7.4.

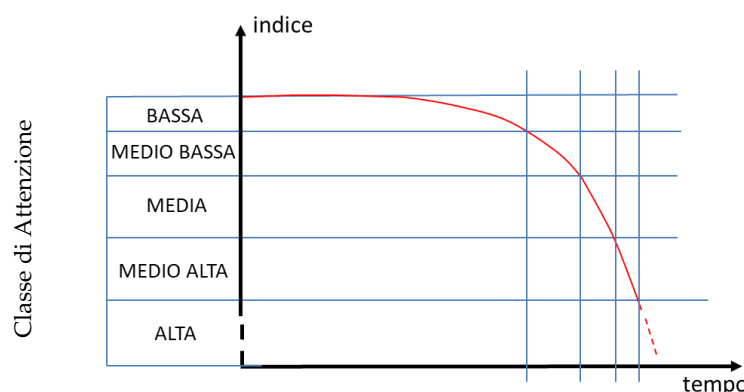


Figura 7.4– Classi di Attenzione in funzione dello stato di condizione

La corrispondenza tra gli intervalli di valore dell'indice dello stato di condizione indicati in Figura 7.4 e le Classi di Attenzione può essere definita in vario modo. Ad esempio, correlando in modo opportuno l'indice rappresentato nella Figura 7.4 alla Difettosità relativa D_R , la classe BASSA potrebbe farsi corrispondere ai valori dell'indice per cui $D_R < 5$ e la classe ALTA ai valori per cui $D_R > 25$. Il campo intermedio potrebbe essere suddiviso in intervalli eguali del valore dell'indice oppure, utilizzando la curva di degrado di riferimento per la tipologia di ponte in esame, in intervalli corrispondenti a periodi eguali di vita operativa, compresi fra l'età della costruzione cui corrisponde il valore limite della prima classe (BASSA) e quella cui corrisponde il valore limite della penultima (MEDIO ALTA).

Se si utilizzano misure del degrado diverse dalla Difettosità relativa si può procedere con criteri analoghi.

In particolare e sempre a titolo di esempio, assumendo per la funzione di degrado l'espressione matematica contenuta nel riferimento di cui alla Figura 7.2, ponendo S_F eguale alla vita di progetto, definito C_F in modo tale che in corrispondenza di esso il ponte inizi a trovarsi nella classe ALTA, il criterio di aggiornamento potrebbe essere definito in modo altrettanto semplice.

Una volta suddivisi i valori dell'indice dello stato di condizione in campi corrispondenti alle classi, la loro attribuzione al ponte in funzione del valore attuale dell'indice è immediata.

7.7.4 PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Come descritto al punto C.2.4.1 della Circolare Ministeriale 21 gennaio 2019 n. 7 esplicativa delle Norme Tecniche NTC 2018 a proposito della vita nominale di progetto, gli interventi di riparazione e di manutenzione straordinaria possono essere in linea di principio gestiti e programmati secondo strategie ottimali che consentono di estendere nel tempo la vita nominale come illustrato nello schema di Figura 7.5, tratta per l'appunto dalla circolare citata.

La Figura 7.5 mostra l'evoluzione dell'indice R di affidabilità strutturale in funzione delle strategie di intervento dispiegate nella gestione dell'opera. Nello schema, l'indice di affidabilità diminuisce per effetto dei fenomeni di degrado dal valore iniziale ad un valore minimo (comunque superiore al limite di collasso) che la struttura raggiunge al termine della vita di progetto con i soli interventi di manutenzione ordinaria e se le condizioni ambientali e d'uso che causano il degrado si mantengono nei limiti previsti dalle norme di progettazione. L'effetto degli interventi di riparazione o di manutenzione straordinaria è rappresentato, in Figura 7.5, da un recupero del valore dell'indice di affidabilità, funzione della tipologia dell'intervento, seguito da un nuovo decadimento che tuttavia condurrebbe a raggiungere il valore minimo per una vita superiore a quella di progetto. Ripetendo l'operazione più volte, la vita attesa può essere significativamente estesa.

La Figura 7.5 illustra inoltre i differenti effetti che due diverse strategie di intervento producono sull'andamento nel tempo del coefficiente di affidabilità e mostra come una strategia di interventi più frequenti ma tipicamente meno costosi (linea grigia) consenta di mantenere il valore dell'indice R a livelli più prossimi a quello originario per un periodo più lungo rispetto alla strategia alternativa (linea nera). L'esempio è prevalentemente di interesse concettuale poiché l'indice di affidabilità non è uno strumento operativo per la gestione di un'opera.

Per tradurre il concetto espresso dalla Figura 7.5 in termini utili ai fini di una programmazione operativa si può invece ricorrere alle curve di degrado definite in precedenza, cioè sostituendo l'indice di stato di condizione all'indice di affidabilità. I due indici non sono ovviamente coincidenti perché lo stato di condizione determinato attraverso la sorveglianza ed il monitoraggio esprime la variazione, causata dal degrado e da danneggiamenti, dello stato attuale rispetto ad uno stato di riferimento che non è lo stato teorico di progetto ma è lo stato (privo di difetti, cioè integro) in cui si suppone trovarsi effettivamente l'opera *as built*.

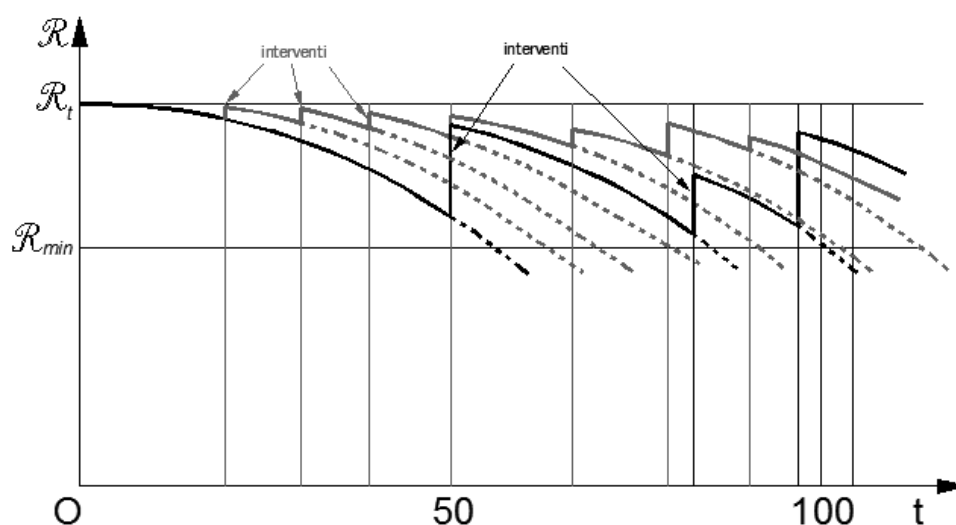


Figura 7.5– Evoluzione dell'indice di affidabilità e della vita utile in funzione degli interventi (Rif. Figura C.2.1 Circolare C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n. 7)

E' evidente che se l'indice di stato di condizione è il risultato di un processo di monitoraggio in cui le evidenze delle ispezioni visive sono combinate con indagini dirette, monitoraggi strumentali, analisi e verifiche su modelli numerici convalidate dalle osservazioni, esso può essere considerato ai fini pratici una "misura" del valore reale di R che non è, di per sé, una grandezza misurabile.

Nelle applicazioni alla gestione dell'integrità e della sicurezza delle opere infrastrutturali, l'obiettivo della pianificazione è dunque quello di ottimizzare l'efficienza degli investimenti da eseguire in un orizzonte temporale di riferimento per interventi di manutenzione ordinaria (di riparazione o ripristino) e straordinaria, tenendo conto del modello attuale di degrado³.

L'esempio della Figura 7.5 consente di mettere in evidenza l'importanza, anche ai fini della gestione ottimale delle risorse economiche nel tempo, della manutenzione preventiva (ordinaria) rispetto ad una strategia che preveda l'attuazione di una manutenzione correttiva (straordinaria) solo a seguito del verificarsi di situazioni rilevanti di degrado.

In conclusione si ricorda che gli elementi a livello di opera da inserire negli inventari di cui al § 7.3 devono essere tali da consentire un'agevole simulazione sia dei costi, che si baserà su di una base statistica di costi standard, sia degli effetti di miglioramento dell'indice di condizione che a sua volta si baserà su di un catalogo di interventi tipo.

Il processo descritto richiede l'impiego di software specialistici connessi alla base dati del BMS direttamente o attraverso varie funzioni di interfacciamento, anche attraverso l'uso di modelli BIM. Il tema del software BMS è trattato nel paragrafo successivo.

7.8 SOFTWARE PER LA GESTIONE DEI PONTI (BMS)

L'efficacia di un sistema di gestione delle infrastrutture, finalizzato in particolare al mantenimento delle migliori condizioni di efficienza e di sicurezza delle opere d'arte, dipende in modo sostanziale dalle funzioni che sono implementate nei sistemi di gestione dei dati e delle informazioni (Bridge Management Systems – BMS) relative alla sorveglianza, così come previsto e disciplinato dal Sistema di Gestione della Sicurezza adottato.

In termini generali, un BMS è uno strumento di supporto alla gestione che consiste, tipicamente, nell'inventario delle opere, nell'archiviazione di dati e informazioni che provengono dalle ispezioni e dalle altre forme di monitoraggio, in logiche capaci di fornire indicazioni, in attuazione delle procedure stabilite dal Sistema di Gestione della Sicurezza, sulle manutenzioni, sui

³. L'efficienza può essere rappresentata da parametri definiti con vari criteri: ad esempio, le norme svizzere SIA 269:2011 *Basi per la conservazione delle strutture portanti* propongono un "coefficiente di efficacia" degli interventi:

$$EF_M = \Delta R_M / SC_M$$

dove ΔR_M è una misura della riduzione del rischio e SC_M è il costo (valore attuale) dell'intervento. Il termine di riduzione del rischio può essere nella fattispecie sostituito dall'incremento dell'indice di stato di condizione ma possono essere assunte funzioni obiettivo per il processo di ottimizzazione anche più complesse, tenendo conto che in una realistica programmazione basata su ipotesi di beneficio/costo entrano in gioco considerazioni di natura finanziaria, di sostenibilità funzionale e altri fattori di natura incerta, dimodoché diventa essenziale la definizione di un obiettivo temporale di riferimento ragionevolmente breve (si fa riferimento al tempo di riferimento t_{ref} per le verifiche di sicurezza presentata nel § 6.1.5). Si pone inoltre in evidenza che nelle analisi beneficio/costo l'opzione demolizione/sostituzione di parti dell'opera o dell'opera intera andrebbe sempre considerata.

miglioramenti e sull'ottimizzazione dell'allocazione delle risorse secondo principi di priorità e di urgenza stabiliti nelle suddette procedure, in relazione all'applicazione delle presenti Linee Guida.

In genere, un software BMS⁴ consiste almeno nei seguenti componenti:

- archiviazione dati,
- modelli di degrado e di costo,
- modelli di analisi e ottimizzazione
- funzioni di aggiornamento.

Nel contesto attuale, sono altresì importanti le funzioni di comunicazione e interscambio (interoperabilità) con altri software, del medesimo tipo e di livello territoriale superiore, ovvero per l'esecuzione di funzioni specialistiche, come ad esempio la modellazione BIM, l'analisi e la progettazione strutturale degli interventi.

Il Software in uso dovrà essere organicamente inserito e disciplinato dal Sistema di Gestione della Sicurezza adottato.

Dal punto di vista funzionale, si raccomanda che i BMS abbiano almeno i seguenti requisiti:

- Gestione dell'inventario, con collegamenti ai dati di progetto e collaudo, ove disponibili, o ai dati di prima ispezione
- Interfaccia GIS
- Interfaccia utente di tipo colloquiale
- Gestione differenziata degli accessi
- Interfaccia con il data base AINOP
- Gestione delle ispezioni e delle sintesi dei risultati dei monitoraggi strumentali, con interfaccia verso il software di gestione dei sistemi di monitoraggio
- Gestione delle classi di attenzione
- Gestione dei risultati di indagini e prove
- Gestione delle soglie di allarme
- Eventuali limitazioni di transito e dei tempi previsti per gli interventi di manutenzione straordinaria/retrofitting
- Interfaccia con i modelli BIM e i modelli di calcolo
- Funzioni di elaborazione statistica e di creazione di rapporti periodici standard
- Gestione e ottimizzazione degli interventi di manutenzione
- Verifica e gestione dei transiti di trasporti eccezionali

8. TEMPI DI ATTUAZIONE

Ferme restando le responsabilità relative alla sicurezza in capo ai gestori dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari esistenti, le presenti Linee Guida, dovranno essere applicate entro i termini riportati nella sottostante tabella, che fanno riferimento alle date di completamento delle attività ivi indicate:

Tabella 8.1– Tempi di attuazione

	Livello 0 - Censimento (§ 2)	Livello 2 - Analisi rischi rilevanti e attribuzione classe di attenzione (§ 4)
Concessionarie autostradali	-----	entro il 30.06.2023
ANAS S.p.A.	entro il 31.12.2022	entro il 31.12.2023
Regioni, Province, Città Metropolitane	entro il 31.12.2023	entro il 30.06.2025
Comuni con resid. > 15000	entro il 30.06.2024	entro il 30.06.2026
Comuni con resid. ≤ 15000	entro il 30.06.2024	entro il 31.12.2026

La tempistica indicata in Tabella 8.1 non è applicabile alle opere per le quali, durante le ispezioni obbligatorie o a seguito di segnalazione, sia già stata accertata la presenza di una riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della

⁴A livello nazionale ed internazionale, esistono molti software per la gestione dei ponti e delle altre opere d'arte presenti nelle infrastrutture, ovviamente non solo stradali o ferroviarie. Alcuni di essi sono disponibili commercialmente mentre altri sono proprietari e sono stati sviluppati in Italia soprattutto internamente ai gestori di grandi reti.

struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione, danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomale, e per cui deve essere dato avvio immediato alla programmazione delle ulteriori ispezioni approfondite e delle conseguenti operazioni di attribuzione della classe di attenzione e messa in sicurezza.

9. BIBLIOGRAFIA

Il presente documento è stato sviluppato assumendo come riferimento parte della letteratura normativa, tecnica e scientifica, nazionale e non, attualmente disponibile a riguardo.

Si ricordano i principali codici normativi italiani emanati nel corso degli anni in tema di gestione, ispezione e manutenzione dei ponti esistenti e che possono ancora rappresentare utili documenti di riferimento tecnico-scientifico, oltre che indicativi in merito all'evoluzione storica del settore. Tra essi possono ricordarsi la Circolare n° 6736/61/AI del 1967, Circolare LL.PP. n° 34233 del 1991 e la Norma C.N.R. (Boll. Uff. n° 165) del 1993.

Ulteriori documenti disponibili nella letteratura tecnica e scientifica sono i manuali per l'ispezione e la valutazione dei ponti, pubblicati dall'associazione degli enti di gestione delle reti autostradali americane AASHTO (*The Manual for Bridge Evaluation*, 2018; *Manual for Bridge Element Inspection*, 2019), nonché la documentazione relativa ai sistemi di vigilanza e gestione sviluppati dall'ANAS Gruppo Ferrovie Italiane (Relazione di sintesi sulle attività di vigilanza di ponti e viadotti, 2018), al sistema adottato dalla rete ferroviaria italiana (RFI) per la gestione e la manutenzione dei ponti (cfr. procedura DTC PSE 44 1 0 e DPR MO SE 03 1 0), sviluppato nell'ambito del progetto DOMUS (Diagnostica Opera d'arte Manutenzione Unificata Standard), nonché i manuali e la documentazione adottata da altri Enti, fra i quali quello adottato dalla Provincia Autonoma di Trento. Analogamente, utili informazioni si possono rinvenire nei manuali relativi al progetto BRIME - Bridge Management in Europe, ossia un ampio progetto europeo finalizzato alla definizione di un sistema di gestione delle reti autostradali condiviso, nonché dall'ampia manualistica prodotta dai singoli Dipartimenti dei Trasporti degli Stati Uniti d'America. A documenti prettamente tecnici quali quelli sopracitati, si aggiungono le numerose pubblicazioni scientifiche elaborate in materia.

Alcuni riferimenti bibliografici e tecnico-scientifici sulla Manualistica e Normative

AASHTO, *The Manual for Bridge Evaluation*, 3d Ed., 2018

AASHTO, *Manual for Bridge Element Inspection*, 2d Ed., 2019

CEN TC 250 N1148 *New European technical rules for the assessment and retrofitting of existing structures*

CIAS *Manuale per la valutazione dello stato dei ponti*

Circ. Min. LL.PP. n° 6736/61/A1 del 19.07.1967

Circ. Min. LL.PP. n° 20977 del 11.11.1980 (*Capo 9. Manutenzione ed Ispezione dei Ponti*).

Circ. Min. LL.PP. n° 34233 del 25.02.1991 (*Capo 9. La gestione dei Ponti stradali*)

C.N.R. B.U. Norme Tecniche, Anno XXXIII N.190. *Parte IV. Apparecchi di Appoggio per le Costruzioni*

C.N.R. Norma Tecnica B.U. 165. 1993. *Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale. Ponti e viadotti.*

D.M. 02/08/1980, *Criteri Generali e Prescrizioni tecniche per la Progettazione, Esecuzione e Collaudo di Ponti Stradali*

D.M. 04/05/1990, *Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali*

FHWA-HRT-13-028 *Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grouts in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts*

FIB *Model Code 2010*

ISO 14963:2003 *Mechanical Vibration and Shock. Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts*

ISO 18649:2004 *Mechanical Vibrations. Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges*

ISO 13822:2010 *Bases for design of structures. Assessment of existing structures*

UNI ISO 55000 *Sistemi di Gestione del Patrimonio*

UNI TR 11634:2016 *Linee Guida per il monitoraggio strutturale*

UNI 10985:2002 *Vibrazioni su Ponti e Viadotti. Linee Guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici* (in corso di revisione)

UNI EN 16991:2018 *Quadro di riferimento per le ispezioni basate sul rischio*

UNI EN ISO 9712:2012 *Prove non distruttive. Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive*

SIA 269:2011 *Basi per la conservazione delle strutture portanti*