

INAIL
ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

RISCHIO NATECH DA SISMA: confronto tra gli obblighi previsti dal D.Lgs. 105/2015 e le NTC 2018. Interventi di prevenzione e mitigazione

Ing. Mariano Ciucci

RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

IL SISMA INVESTE TUTTO LO STABILIMENTO

PIÙ DANNI CONTEMPORANEAMENTE



SCENARI INCIDENTALI SIMULTANEI

POSSIBILE INDISPONIBILITA' DEI SISTEMI DI MITIGAZIONE



CROLLO DEL CAMINO DI UN
FORNO PER IL TOPPING



DANNI AL SISTEMA DI PIPING



PROPAGAZIONE INCENDIO PER
INOPERABILITÀ DELLE VALVOLE
DI SHUTOFF



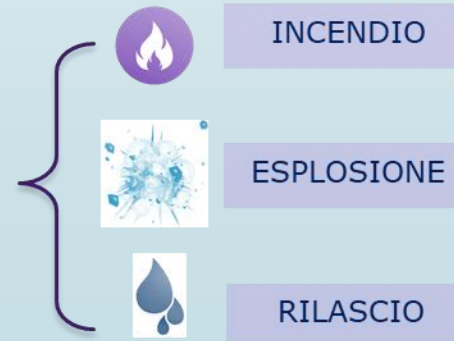
INCENDIO IN UN SERBATOIO DI
NAFTA A TETTO GALLEGGIANTE
INNESCO DA SLOSHING



PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO
PER INDISPONIBILITÀ DI ENERGIA
ELETTRICA E ACQUA PER
L'IMPIANTO ANTINCENDIO



INCENDIO DURATO 5 GIORNI



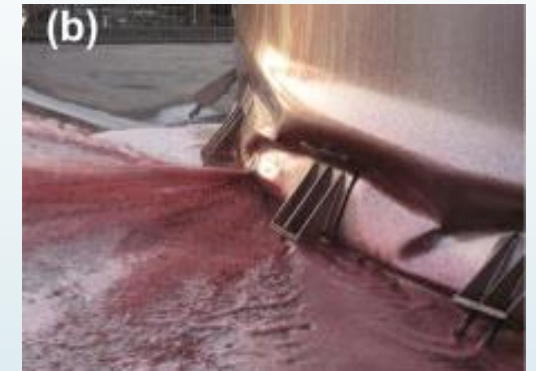
RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

DANNI INDOTTI DAL SISMA SU APPARECCHIATURE INDUSTRIALI

SOLLEVAMENTO E ROTAZIONE ALLA BASE E DANNI DEGLI ANCORAGGI



Terremoto in Turchia del 1999
7,6 Mw (Izmit)



Terremoto in Cile del 2010
8,8 Mw (Maule)

RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Vulnerabilità sismica dei serbatoi atmosferici a tetto galleggiante

DANNI A LIVELLO GLOBALE



ribaltamento



scorrimento



incendio

DANNI AL MANTELLO



a forma di diamante



a zampa
d'elefante

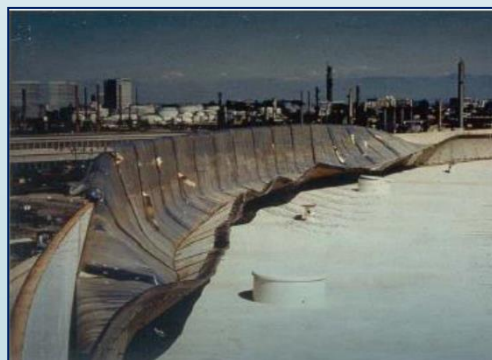
DANNI AL TETTO GALLEGGIANTE e ELEMENTI CONNESSI



deformazioni



inclinazione e affondamento



rottura del sistema di tenuta

DANNI IN CORRISPONDENZA DEL FONDO



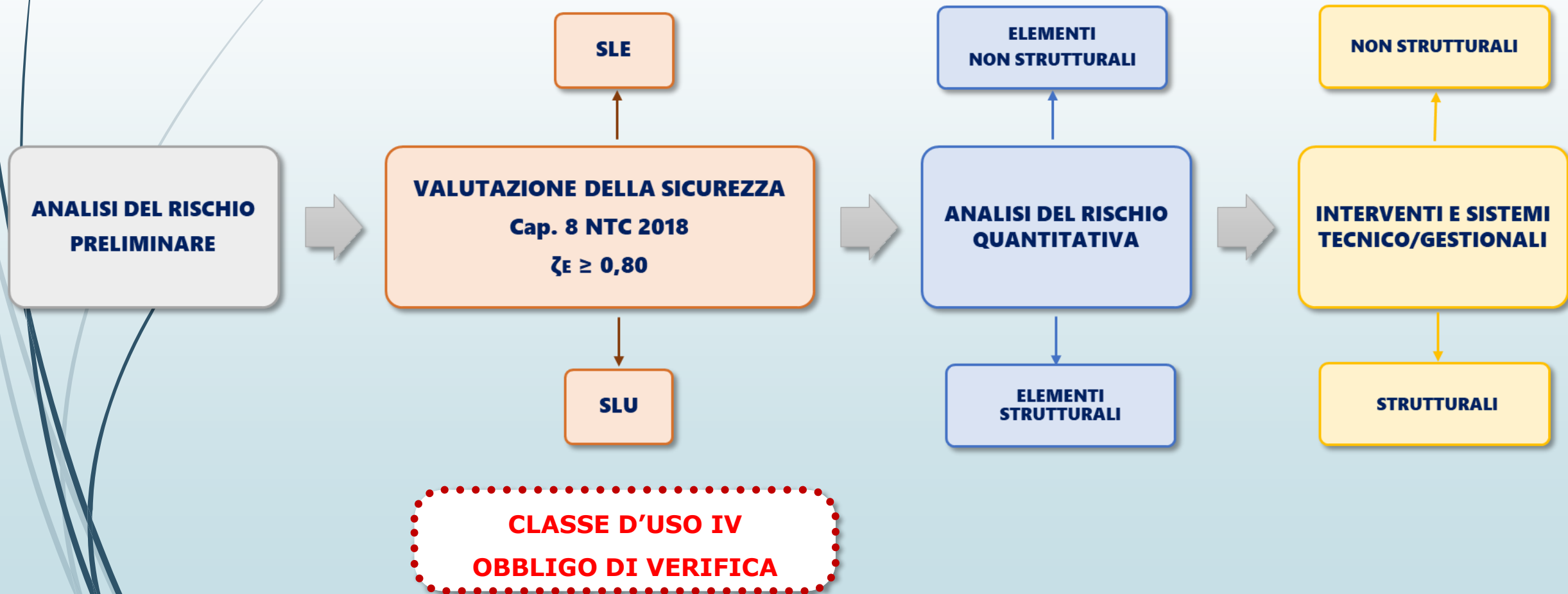
rottura degli
ancoraggi



rottura delle tubazioni

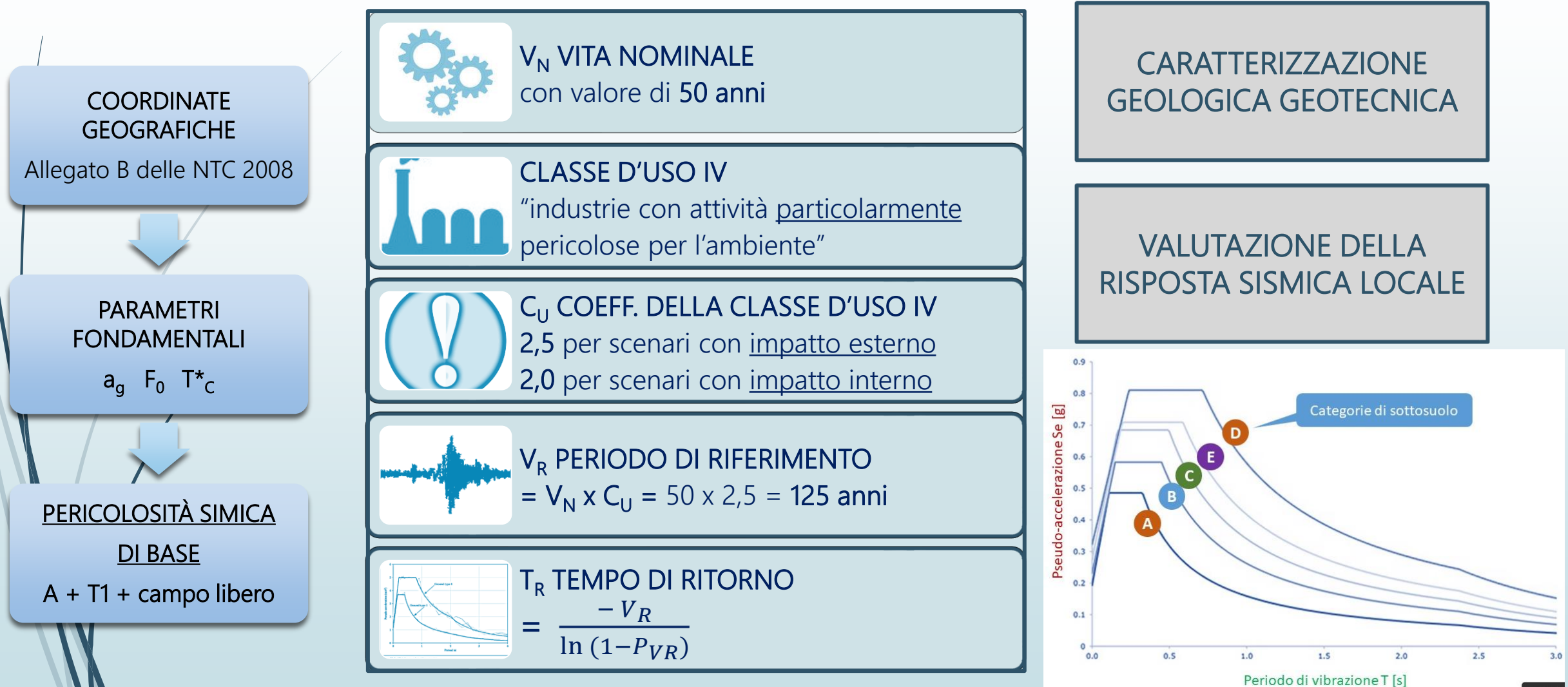
ITER METODOLOGICO PER LA VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO NATECH DA SISMA

STABILIMENTI INDUSTRIALI PIR ESISTENTI



RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

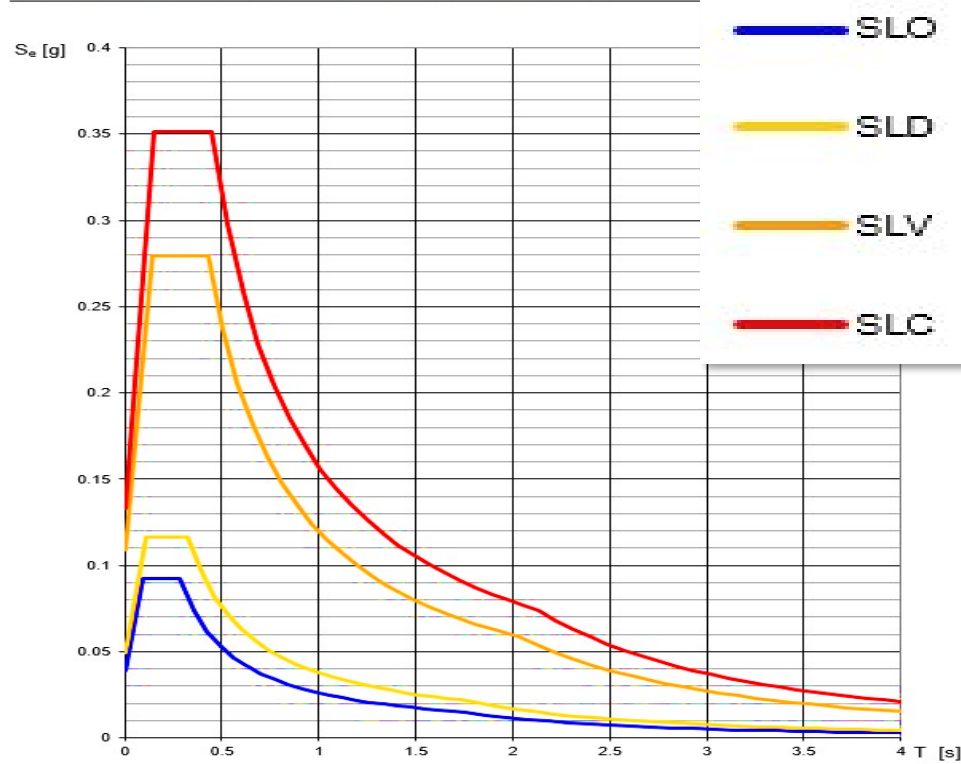
Valutazione della sicurezza NTC 2018: determinazione dell'azione sismica



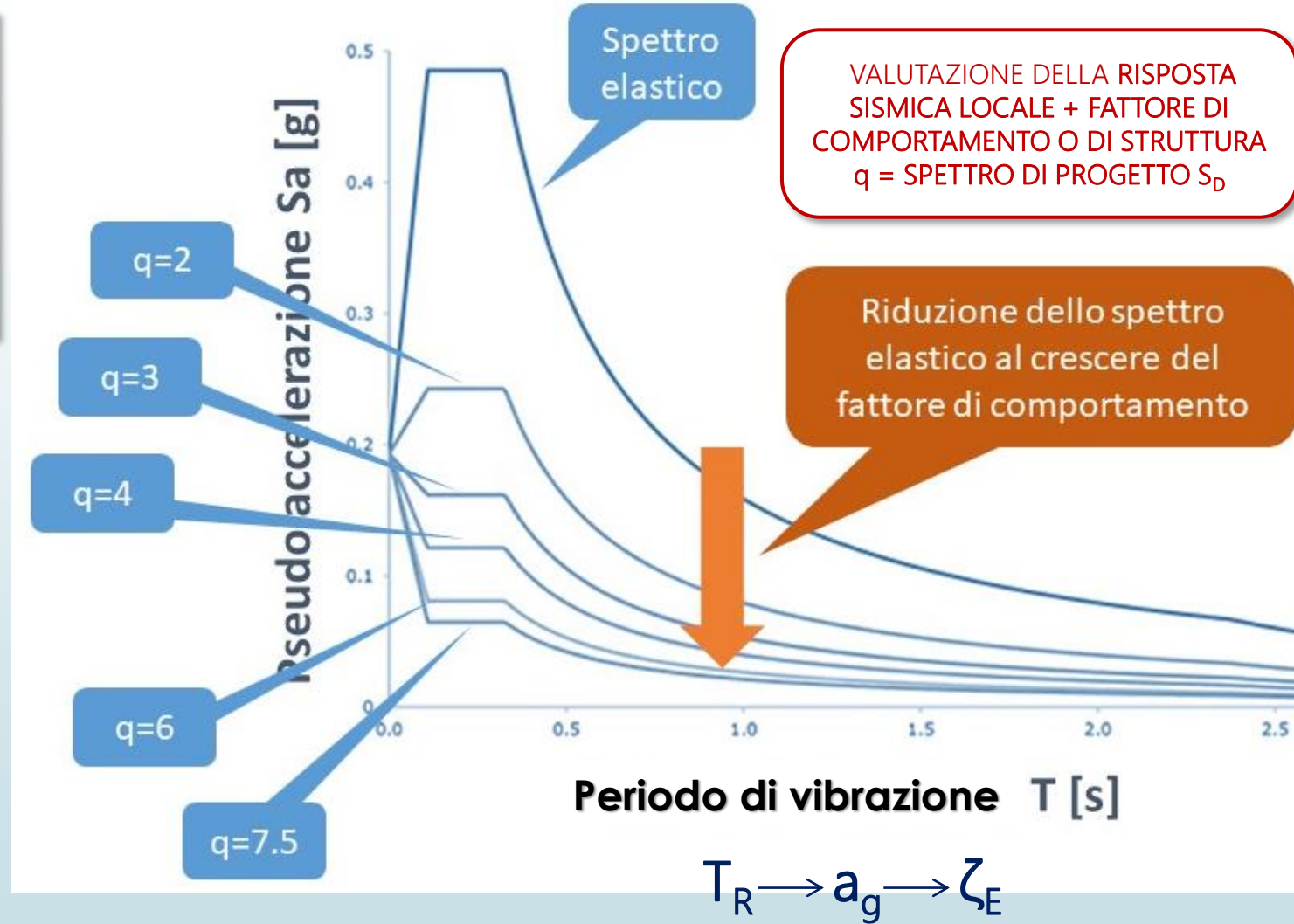
RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Valutazione della sicurezza NTC 2018: determinazione dell'azione sismica

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (A; T1; CAMPO LIBERO) +
VALORI DI PROGETTO =
SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE
AGLI STATI LIMITE O SPETTRO DI RIFERIMENTO S_E



RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Verifica della sicurezza per azioni sismiche NTC 2018: SLE e SLU

LIVELLO DI SICUREZZA O INDICE DI VULNERABILITÀ

ζ_E

$\zeta_E = \frac{\text{AZIONE SISMICA MASSIMA SOPPORTABILE DALL'OPERA ESISTENTE}}{\text{AZIONE SISMICA MASSIMA CHE SI UTILIZZEREBBE NEL PROGETTO DI UN'OPERA EX NOVO}}$

$$\zeta_E \geq 1$$

$$0,8 \leq \zeta_E < 1$$

$$\zeta_E < 0,8$$

$0,60 \leq \zeta_E \leq 0,80$
sistemi tecnici e gestionali per la mitigazione delle conseguenze legate ad un evento sismico.

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

$$\bullet 0,6 < \zeta_E < 0,8$$

NECESSITÀ DI PROGRAMMARE L'INTERVENTO SULLA BASE DELLE

**CONSEGUENZE IN TERMINI DI PUBBLICA
INCOLUMITÀ**

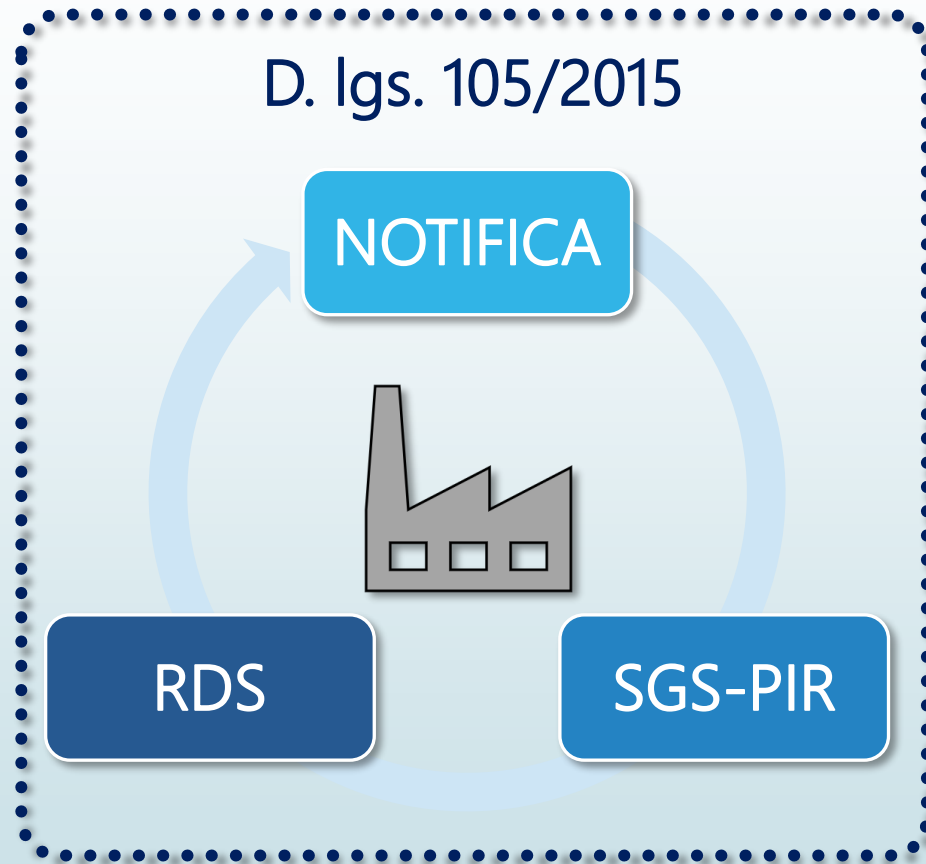
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

$$\bullet \zeta_E \geq 0,80$$

Qualora non dovessero essere soddisfatte le **verifiche nei confronti delle azioni non sismiche**, sussiste l'obbligo di adottare opportuni provvedimenti e di prevedere l'esecuzione di interventi di miglioramento/adequamento.

RISCHIO NATECH NEGLI STABILIMENTI PIR:

Notifica, SGS-PIR e Rapporto di Sicurezza.



RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Approccio per la valutazione del rischio sismico



RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Analisi del Rischio NaTech da Sisma

IDENTIFICAZIONE DEGLI **EVENTI PREVEDIBILI**
Es. HAZOP



VALUTAZIONE DELLE **PROBABILITÀ DI ACCADIMENTO**
Es. Albero dei Guasti



INDIVIDUAZIONE DEGLI **EVENTI CREDIBILI**



VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA DEGLI **SCENARI**
Es. Albero degli Eventi



ANALISI DELLE **CONSEGUENZE**

RATEI DI
GUASTO



L'evento
è credibile?

SI

NO

**Cosa cambia
considerando il
sisma?**

La determinazione dei ratei di guasto in condizioni di esercizio di un impianto valutati in associazione all'evento sismico può restituire risultati differenti:

**UNA SITUAZIONE PRIMA POCO CREDIBILE, ORA
POTREBBE DIVENTARE CREDIBILE!**

RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Analisi del Rischio NaTech da Sisma

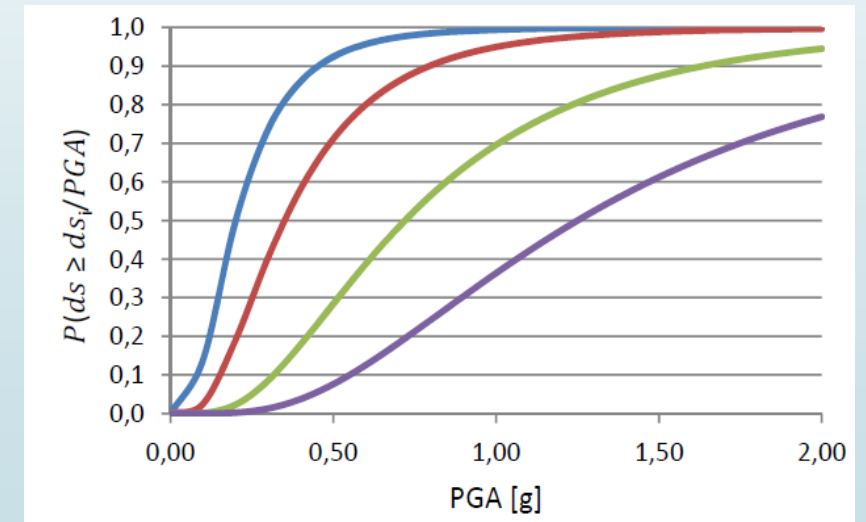
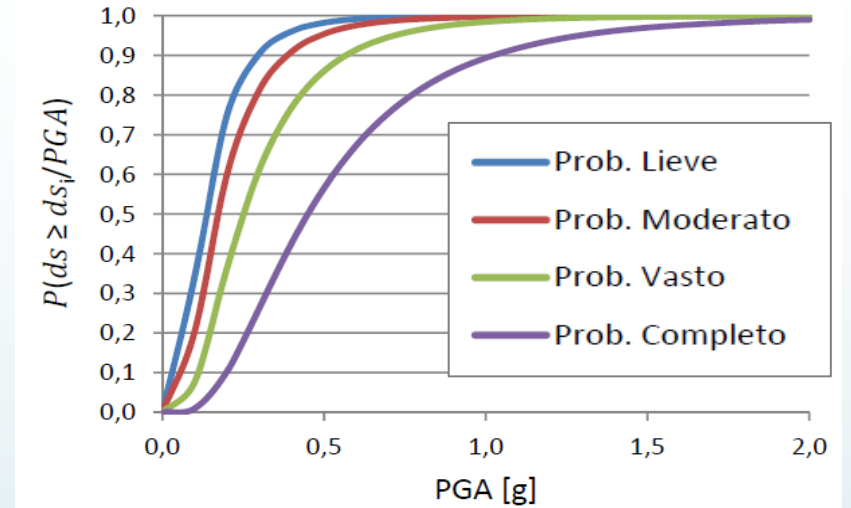
La stima delle probabilità di accadimento di danni a livello globale (strutturale) e locale (strutturale e non strutturale) può essere svolta tramite l'utilizzo di curve di fragilità.

Le curve di fragilità per sisma forniscono la probabilità che la domanda sismica per un componente industriale superi uno dato Stato Limite (LS) per una specifica Misura di Intensità (IM) del terremoto.

Lo Stato Limite indica una configurazione per il componente oltre la quale si verifica un danno o una condizione non desiderata.

Le curve di fragilità attualmente presenti in Letteratura sono di natura empirica, basate sull'osservazione dei danni causati dai terremoti passati ad una stessa tipologia di componente.

È possibile realizzare curve di fragilità *ad hoc* per componenti industriali di cui interessa stimare la probabilità di accadimento di danni strutturali e non strutturali, al fine di tenere in conto le specificità del caso in esame.



RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Probabilità di accadimento del danno sismico tramite curve di fragilità

DEFINIZIONE

La curva di fragilità rappresenta la probabilità che la domanda sismica, in termini di parametro della domanda (D_{EDP}) ingegneristica, su una costruzione superi lo stato limite (LS) per una specifica misura di intensità del terremoto (IM).

Identificazione del danno
(o stato di danno)

Scelta dell'input
sismico

Calcolo della
domanda sismica

Scelta della soglia
di danno

Curva di fragilità

$$P[D_{EDP} \geq LS | IM] = 1 - \Phi[(\ln(LS_m) - \ln(D_m)) / \beta_d]$$

Probabilità di
danno
accettabile?

no

Intervento di
mitigazione

sì
Fine

- Verifiche di sicurezza
- Analisi di vulnerabilità sulla base delle reali condizioni della struttura (es.: corrosione, invecchiamento, ...)
- Esperienza

ESEMPIO: SERBATOIO CON TETTO GALLEGGIANTE



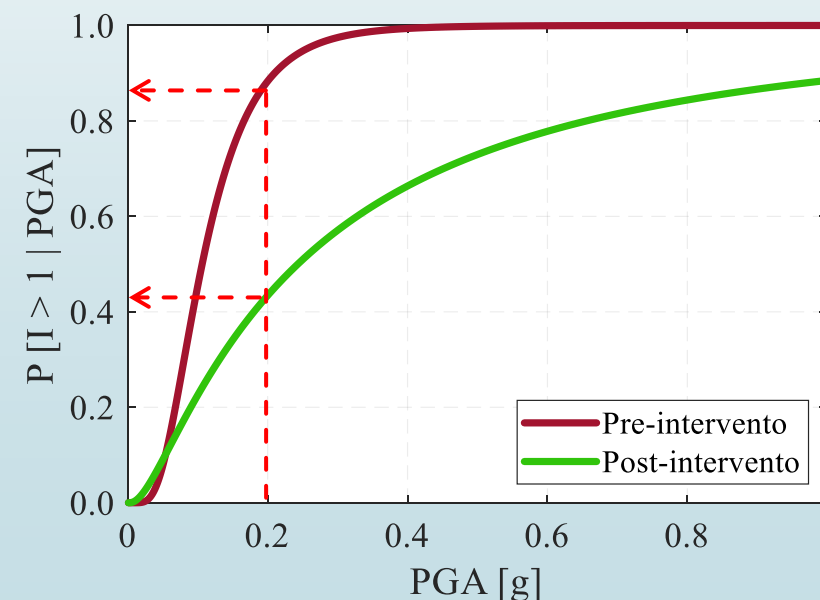
Danno: impatto del tetto contro il mantello

Input sismico: set di accelerogrammi naturali

Domanda sismica: numero di impatti I

Soglia di danno: $I \geq 1$

Intervento di mitigazione: sostituzione del sistema di tenuta



GESTIONE DEL RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

GESTIONE DEL RISCHIO

VERIFICA DELLA SICUREZZA SISMICA

Verifica soddisfatta

Verifica non soddisfatta

ANALISI DI RISCHIO



**QUALI SONO LE POSSIBILI
STRATEGIE DA ADOTTARE?**



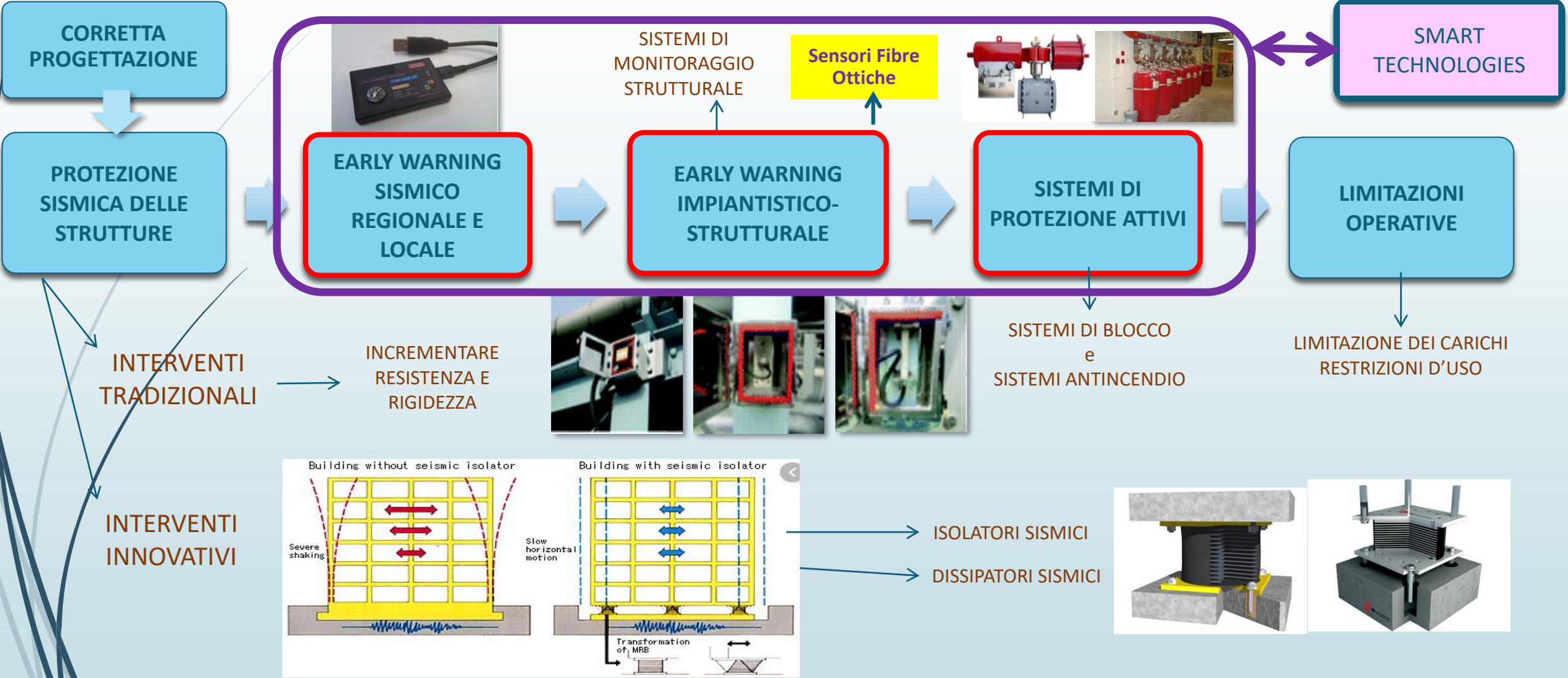
PROGETTAZIONE E
REALIZZAZIONE DI
NUOVI IMPIANTI



RETROFIT PER
MIGLIORAMENTO/ADEGUAMENTO
DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA
DI IMPIANTI ESISTENTI

GESTIONE DEL RISCHIO NATECH DA SISMA NEGLI STABILIMENTI PIR

Misure di prevenzione/mitigazione tecniche e gestionali:



CONCLUSIONI

L'iter metodologico esposto per la valutazione del rischio NaTech negli stabilimenti PIR e la successiva implementazione di misure di prevenzione/mitigazione tecniche e gestionali rappresentano aspetti complementari che si collocano perfettamente in un'ottica di **prevenzione**, intesa come **insieme di strategie atte a contribuire alla resilienza di un sistema**.



«capacità intrinseca di un sistema complesso di adattare il proprio funzionamento prima, durante e in seguito ad un cambiamento o ad una perturbazione, in modo da poter continuare le operazioni necessarie sia in condizioni previste che in condizioni impreviste»

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

*«Le persone non vengono uccise tanto dai terremoti,
quanto dalle opere crollate»*

Shigeru Ban



Terremoto in Cile del 1960 – 9,5 Mw (Valdivia)