

Corso di formazione e aggiornamento professionale

Analisi e adeguamento sismico
di edifici in c.a. ed in muratura

Valutazione della sicurezza, verifica sismica
e interventi su edifici esistenti in c.a.

1 - Problematiche generali; conoscenza dell'edificio

Messina

13 aprile 2012

Aurelio Gheresi

Normativa di riferimento:

norme italiane

Criteri generali per la progettazione sismica:

- D.M. 14/1/2008
Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 08)
 - Cap. 3, par. 3.2: Azione sismica
 - Cap. 7: Progettazione per azioni sismiche

Indicazioni specifiche per edifici esistenti:

- NTC 08 - Cap. 8: Costruzioni esistenti
- Circolare 2/2/09 - Cap. C8: Costruzioni esistenti
- OPCM 3431
ove non in contrasto con le Norme Tecniche per le Costruzioni
 - Cap. 11: Edifici esistenti

Normativa di riferimento:

norme europee

Criteri generali per la progettazione sismica:

- Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1:2004)
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

Indicazioni specifiche per edifici esistenti:

- Eurocodice 8: (UNI EN 1998-3:2005)
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici

Altra documentazione rilevante

Linee guida regionali di particolare interesse:

- Regione Basilicata: Linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici strategici e rilevanti (ottobre 2005)
- Regione Abruzzo: Linee guida per la valutazione della resistenza sismica degli edifici strategici e rilevanti (giugno 2007)

Altra documentazione:

- Documenti prodotti dal GNDT (Gruppo Nazionale Difesa Terremoti), in particolare Progetto SAVE
- si veda il sito <http://gndt.ingv.it/>

Rischio sismico e vulnerabilità sismica

considerazioni generali

Rischio sismico

Un sistema (struttura, infrastruttura ...) ubicato in una zona sismica è soggetto alla possibilità di subire danni per effetto di un terremoto e quindi che questi danni inducano perdite alla collettività in termini economici, culturali e di vite umane

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Rischio sismico

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Definizione probabilistica di rischio sismico:

probabilità che, in un dato arco di tempo t^* , venga raggiunto un assegnato livello di perdita, indicato con L_i .

$$R = p(t^*, L_i).$$

Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Pericolosità sismica

È una misura della potenzialità distruttive del terremoto atteso in una data area

In termini probabilistici è la probabilità che in un lasso temporale t^* si registri un livello di intensità sismica H_k :

$$P = p(t^*, H_k)$$

Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Vulnerabilità sismica

È una misura della propensione al danneggiamento strutturale, a prescindere dalla sismicità dell'area

In termini probabilistici è la probabilità che per un livello di intensità sismica H_k si verifichi un livello di danneggiamento D_j :

$$V = p(H_k, D_j)$$

Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Esposizione

È una misura della perdita (economica, di vite umane, ecc.) associata ad un livello di danno

In termini probabilistici è la probabilità che per un livello di danneggiamento D_j si verifichi un livello di perdita L_i :

$$E = p(D_j, L_i)$$

Rischio sismico

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

- Pericolosità sismica
- Vulnerabilità sismica
- Esposizione

$$R = p(t^*, L_i) = P \times V \times E$$

$$R = p(t^*, H_k) \times p(H_k, D_j) \times p(D_j, L_i)$$

Se anche uno solo dei tre contributi è nullo o trascurabile il rischio è nullo o trascurabile

Rischio sismico

L'approccio probabilistico alla valutazione della vulnerabilità, del danno e del rischio sismico presuppone l'applicazione di tecniche di valutazione su campioni significativi di organismi strutturali

- Indagini di vulnerabilità a grande scala (interi comuni o vaste aree territoriali)
- Indagini su piccola-media scala (gruppo limitato di immobili, quartieri, analisi tipologiche, ecc.)
- Indagini su piccolissima scala (esame del singolo edificio o di pochi edifici)
valutazione delle prestazioni sismiche

Indagini a grande o media scala

Le schede di rilievo

La valutazione della vulnerabilità è basata sulla conoscenza dell'organismo strutturale esaminato

L'acquisizione guidata dei dati necessari alla valutazione viene effettuata mediante apposite schede

Le schede di rilievo

Schede di vulnerabilità ed esposizione:
sono classificate in relazione alla loro finalità e al
livello di dettaglio delle informazioni

- prescheda per la raccolta di informazioni preliminari al censimento di vulnerabilità
- censimento speditivo di vulnerabilità per edifici in muratura o in cemento armato
- scheda di 1° / 2° livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità di edifici (muratura, c. a.), capannoni industriali, chiese
- scheda per il rilievo post-terremoto (valutazioni a posteriori della vulnerabilità)

Scheda di 1° livello

Sezione 1 - DATI RELATIVI ALLA SCHEDA

Cod. ISTAT Provincia
Cod. ISTAT Comune
Comune

Scheda N°
Data
Squadra

Sezione 2 - LOCALIZZAZIONE EDIFICIO

Cod. ISTAT Sez. Cens.

RIFERIMENTO CATASTALE
Foglio Mappale Particella

CARTOGRAFIA DI RILEVAZIONE
Foglio Aggregato Edificio

URBANISTICA
Zona di piano Piano attu. Vincoli

Aggregato strutturale Edificio

0 via, viale - 1 corso
2 vicolo - 3 piazza, largo
4 località

Nome

N° civico

N° accessi N° fronti a comune

Sezione 3 - DATI METRICI

Superficie media N° piani a superficie coperta (mq)
media coperta uguale

N° piani ad altezza media interpiano uguale
Altezza media interpiano (m)

Altezza massima fuori terra valutata in gronda (m)

Altezza minima fuori terra valutata in gronda (m)

Larghezza strada fronte principale (m)

Sezione 4 - USO

Totale unità d'uso
Stato dell'edificio F finito
N non finito
C in costruzione

Condizioni d'uso 1 totalmente utilizzato
2 parzialmente utilizzato
3 non utilizzato
4 abbandonato

Proprietà

Conduzione prev. 1 diretta
2 in locazione

Residenza 2 no 1 si Abitazioni occupate N° Sup. %
Abitazioni libere N° Sup. %
Abitazioni occup. salt. N° Sup. %

Att. produttive 1 si 2 no Servizi pubbl. 1 si 2 no Denom. dell'edificio

Unità d'uso Periodo di utilizz. Ut. Potenz. Bacino di utenza
N° Codice Tipo Sup. %
140 141 142 143 144
145 146 147 148 149
150 151 152 153 154
155 156 157 158 159
160 161 162 163 164
165 166 167 168 169
170 171 172 173 174
175 176 177 178 179
180 181 182 183 184
185 186 187 188 189
190 191 192 193 194
195 196 197 198 199
200 201 202 203
204 205 206 207 208
209 210 211 212 213
214 215 216 217 218
219 220 221 222 223
224 225 226 227 228
229 230 231 232 233
234 235 236 237 238
239 240 241 242 243
244 245 246 247 248
249 250 251 252 253
254 255 256 257 258
259 260 261 262 263
264 265 266 267 268
269 270 271 272 273
274 275 276 277 278
279 280 281 282 283
284 285 286 287 288
289 290 291 292 293
294 295 296 297 298
299 300 301 302 303
304 305 306 307 308
309 310 311 312 313
314 315 316 317 318
319 320 321 322 323
324 325 326 327 328
329 330 331 332 333
334 335 336 337 338
339 340 341 342 343
344 345 346 347 348
349 350 351 352 353
354 355 356 357 358
359 360 361 362 363
364 365 366 367 368
369 370 371 372 373
374 375 376 377 378
379 380 381 382 383
384 385 386 387 388
389 390 391 392 393
394 395 396 397 398
399 400 401 402 403
404 405 406 407 408
409 410 411 412 413
414 415 416 417 418
419 420 421 422 423
424 425 426 427 428
429 430 431 432 433
434 435 436 437 438
439 440 441 442 443
444 445 446 447 448
449 450 451 452 453
454 455 456 457 458
459 460 461 462 463
464 465 466 467 468
469 470 471 472 473
474 475 476 477 478
479 480 481 482 483
484 485 486 487 488
489 490 491 492 493
494 495 496 497 498
499 500 501 502 503
504 505 506 507 508
509 510 511 512 513
514 515 516 517 518
519 520 521 522 523
524 525 526 527 528
529 530 531 532 533
534 535 536 537 538
539 540 541 542 543
544 545 546 547 548
549 550 551 552 553
554 555 556 557 558
559 560 561 562 563
564 565 566 567 568
569 570 571 572 573
574 575 576 577 578
579 580 581 582 583
584 585 586 587 588
589 590 591 592 593
594 595 596 597 598
599 600 601 602 603
604 605 606 607 608
609 610 611 612 613
614 615 616 617 618
619 620 621 622 623
624 625 626 627 628
629 630 631 632 633
634 635 636 637 638
639 640 641 642 643
644 645 646 647 648
649 650 651 652 653
654 655 656 657 658
659 660 661 662 663
664 665 666 667 668
669 670 671 672 673
674 675 676 677 678
679 680 681 682 683
684 685 686 687 688
689 690 691 692 693
694 695 696 697 698
699 700 701 702 703
704 705 706 707 708
709 710 711 712 713
714 715 716 717 718
719 720 721 722 723
724 725 726 727 728
729 730 731 732 733
734 735 736 737 738
739 740 741 742 743
744 745 746 747 748
749 750 751 752 753
754 755 756 757 758
759 760 761 762 763
764 765 766 767 768
769 770 771 772 773
774 775 776 777 778
779 780 781 782 783
784 785 786 787 788
789 790 791 792 793
794 795 796 797 798
799 800 801 802 803
804 805 806 807 808
809 810 811 812 813
814 815 816 817 818
819 820 821 822 823
824 825 826 827 828
829 830 831 832 833
834 835 836 837 838
839 840 841 842 843
844 845 846 847 848
849 850 851 852 853
854 855 856 857 858
859 860 861 862 863
864 865 866 867 868
869 870 871 872 873
874 875 876 877 878
879 880 881 882 883
884 885 886 887 888
889 890 891 892 893
894 895 896 897 898
899 900 901 902 903
904 905 906 907 908
909 910 911 912 913
914 915 916 917 918
919 920 921 922 923
924 925 926 927 928
929 930 931 932 933
934 935 936 937 938
939 940 941 942 943
944 945 946 947 948
949 950 951 952 953
954 955 956 957 958
959 960 961 962 963
964 965 966 967 968
969 970 971 972 973
974 975 976 977 978
979 980 981 982 983
984 985 986 987 988
989 990 991 992 993
994 995 996 997 998
999 1000 1001 1002 1003
1004 1005 1006 1007 1008
1009 1010 1011 1012 1013
1014 1015 1016 1017 1018
1019 1020 1021 1022 1023
1024 1025 1026 1027 1028
1029 1030 1031 1032 1033
1034 1035 1036 1037 1038
1039 1040 1041 1042 1043
1044 1045 1046 1047 1048
1049 1050 1051 1052 1053
1054 1055 1056 1057 1058
1059 1060 1061 1062 1063
1064 1065 1066 1067 1068
1069 1070 1071 1072 1073
1074 1075 1076 1077 1078
1079 1080 1081 1082 1083
1084 1085 1086 1087 1088
1089 1090 1091 1092 1093
1094 1095 1096 1097 1098
1099 1100 1101 1102 1103
1104 1105 1106 1107 1108
1109 1110 1111 1112 1113
1114 1115 1116 1117 1118
1119 1120 1121 1122 1123
1124 1125 1126 1127 1128
1129 1130 1131 1132 1133
1134 1135 1136 1137 1138
1139 1140 1141 1142 1143
1144 1145 1146 1147 1148
1149 1150 1151 1152 1153
1154 1155 1156 1157 1158
1159 1160 1161 1162 1163
1164 1165 1166 1167 1168
1169 1170 1171

Scheda di 2° livello

N	PARAMETRO	VALORI	CODIFICHE
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE	<input type="checkbox"/>	<p>La valutazione va riferita alla direzione più debole.</p> <p>1 Pareti in c.a. in entrambi le direzione 2 Pilastri e travi alte 3 Pilastri e travi in spessore di solaio 4 Altro _____ 5 Non so</p>
2	DISTRIBUZIONE DELLE TAMPONATURE	<input type="checkbox"/>	<p>Considerare solo le tamponature esterne e i campi di tamponatura pieni per più del 70% a contatto con la maglia strutturale (travi e pilastri).</p> <p>A Su 4 lati esterni B Su 3 lati esterni C Su 2 lati esterni D Su 1 lato esterno</p>
3	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	Forma <input type="checkbox"/>	<p>IL nucleo scale e ascensore sono da considerarsi resistenti quando sono realizzati o in pareti di c.a. o a struttura intelaiata con tamponatura consistente (Blocchi cls o tufo, mattoni pieni o forati doppio UNI)</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>1 Forma compatta con nucleo scala ascensore resistente centrale</p> <p>2 Forma compatta con nucleo scala ascensore resistente eccentrico</p> <p>3 Forma non compatta con nucleo scala ascensore resistente centrale</p> <p>4 Forma non compatta con nucleo scala ascensore resistente eccentrico</p> </div> <div style="flex: 2;"> </div> </div>
4	IRREGOLARITÀ IN ELEVAZIONE	Piano debole <input type="checkbox"/> Pilastri tozzi <input type="checkbox"/>	<p>Per piano debole si intende un piano che ha una rigidezza ridotta rispetto agli altri come il caso di piano pilotis o piani con grandi aperture o privi di tamponature o poste in aggetto o arretrate rispetto alla maglia strutturale</p> <p>A Assente B Diverso dal piano terra con nucleo scala-ascensore resistente C Al piano terra con nucleo scala-ascensore resistente D Diverso dal piano terra senza nucleo scala-ascensore resistente E Al piano terra senza nucleo scala-ascensore resistente</p> <p>1 Assenti 2 Per travi a ginocchio o piani sfalsati 3 Per finestre a nastro 4 Altro _____</p>

Codice ISTAT Provincia <input type="text"/>		Codice ISTAT Comune <input type="text"/>		Scheda No. <input type="text"/>	
PARAMETRI	Class.	Qual. inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI - RICHIAMI (MURATURA)
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Norm. nuove costruz. (cl. A) <input type="checkbox"/> Norm. riparazioni (cl. A) <input type="checkbox"/> Cord. e cat. tutti livelli (cl. B) <input type="checkbox"/> Buoni amm. fra mur. (cl. C) <input type="checkbox"/> Senza cord. cattivi amm. (cl. D) <input type="checkbox"/>	Parametro 3. Resistenza convenzionale. Tipologia struttura verticale r_s (t/mq) Minimo fra A_x e A_y A (mq) Massimo fra A_x e A_y B (mq) Coeff. $a_s = A/At$ Coeff. $\gamma = B/A$ $q = (A_x + A_y) h \cdot p_m / At + p_s$ $C = \frac{a_s \cdot r_s}{q \cdot N} \sqrt{1 + 1.5 \cdot \frac{q \cdot N}{a_s \cdot r_s (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0.4$
2	QUALITÀ DEL S.R.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(vedi manuale) <input type="checkbox"/>	Parametro 6. Configurazione planimetrica. $\beta_1 = \frac{a}{l}$ $\beta_2 = \frac{b}{l}$
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numero di piani N <input type="checkbox"/> Area tot. cop. A_t (mq) <input type="checkbox"/> Area A_x (mq) <input type="checkbox"/> Area A_y (mq) <input type="checkbox"/> r_s (t/mq) <input type="checkbox"/> Alt. media interp. h (m) <input type="checkbox"/> Peso spec. par. p_m (t/mc) <input type="checkbox"/> Carico perm. sol. p_s (t/mq) <input type="checkbox"/>	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pend. perc. terr. <input type="checkbox"/> Roccia fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Terr. sc. non sp. fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Terr. sc. sp. fond. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Diff. max di quota Δh (m) <input type="checkbox"/>	Parametro 7. Configurazione in elevazione.
5	ORIZZONTAMENTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Piani sfalsati si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Orizz. rig. e ben coll. <input type="checkbox"/> Orizz. def. e ben coll. <input type="checkbox"/> Orizz. rig. e mal coll. <input type="checkbox"/> Orizz. def. e mal coll. <input type="checkbox"/> % or. rig. ben coll. <input type="checkbox"/>	
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rapp. perc. $\beta_1 = a/l$ <input type="checkbox"/> Rapp. perc. $\beta_2 = b/l$ <input type="checkbox"/>	Parametro M9. Copertura.
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	% aumento (+) riduz. (-) di massa <input type="checkbox"/> Rapp. perc. T/H <input type="checkbox"/> Perc. in sup. port. <input type="checkbox"/> Piano terra port. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	
M8	D_{max} MURATURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rapp. massimo l/s <input type="checkbox"/>	Parametro M9. Copertura.
M9	COPERTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> poco sp. <input type="checkbox"/> sp. <input type="checkbox"/> Cord. in copert. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Cat. in copert. si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Car. perm. cop. p_s (t/mq) <input type="checkbox"/> Lungh. app. cop. l_s (m) <input type="checkbox"/> Perim. cop. l (m) <input type="checkbox"/>	
10	EL. NON STRUTT.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(vedi manuale) <input type="checkbox"/>	Parametro M9. Copertura.
11	STATO DI FATTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(vedi manuale) <input type="checkbox"/>	

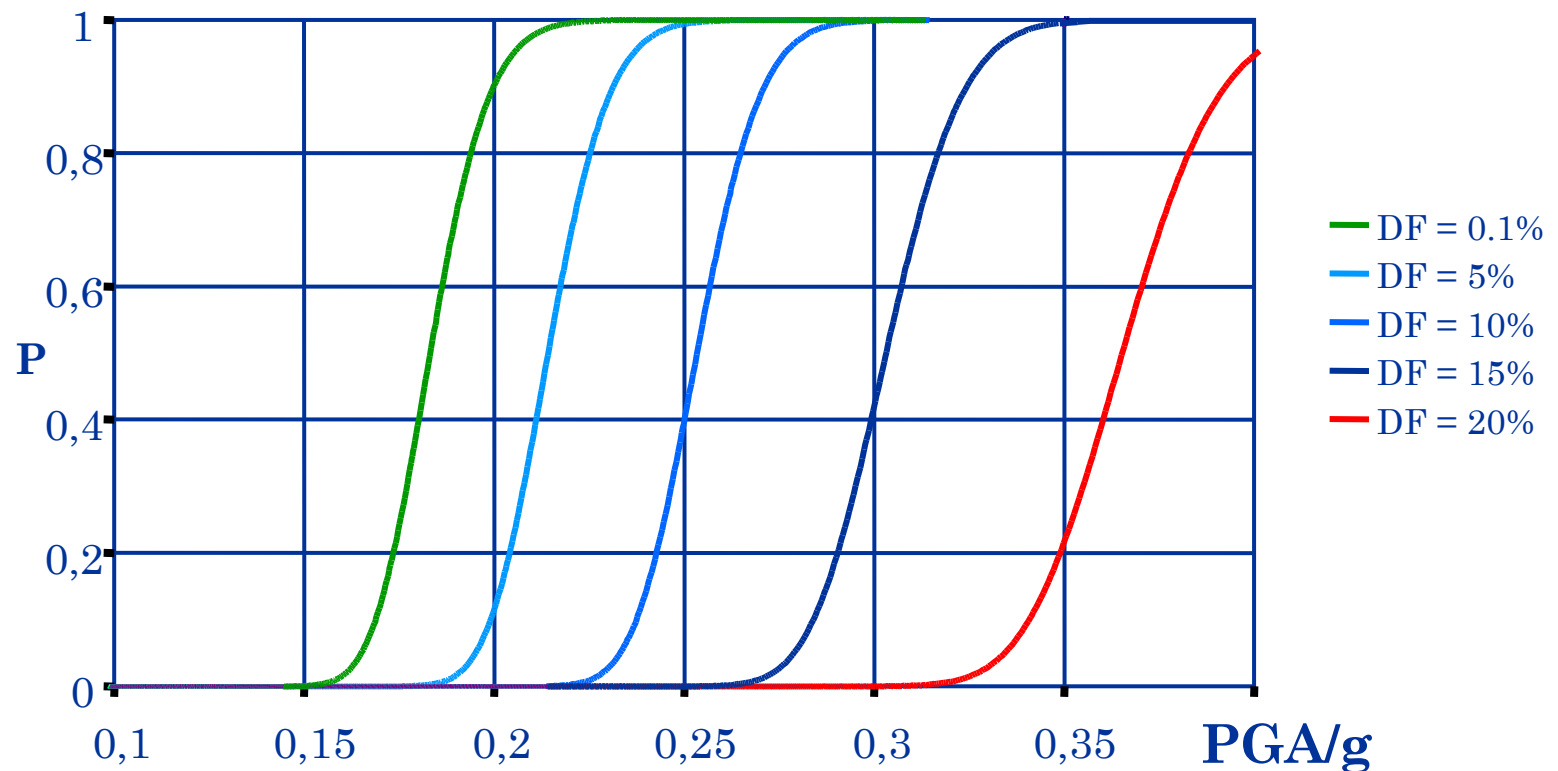
Matrice di probabilità di danno

La relazione tra danno e intensità sismica può essere espressa in termini matriciali

Grado di danno	Grado di intensità sismica				
	VI	VII	VIII	IX	X
1	50				
2	5				
3		50			
4		5	50		
5			5	50	75

Curve di fragilità

La relazione tra danno e intensità sismica in termini probabilistici è definita curva di fragilità



Indagini a piccolissima scala (singolo edificio)

Occorre un approccio diverso
e schede di rilievo diverse

Obiettivo:

- Raggiungere una conoscenza dell'edificio sufficiente per poter esprimere un giudizio (qualitativo - quantitativo)

La norma richiede di classificare il livello di conoscenza raggiunto

- NTC 08 (punto 8.5.4) - solo il principio generale
- Circolare 2/2/09, OPCM 3431 ed EC8 - regole applicative

Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
 - In genere il punto principale è giudicare se i dissesti hanno ridotto o compromesso gravemente la capacità di portare carichi verticali
 - Il giudizio è sostanzialmente indipendente dalla capacità della struttura di sostenere l'azione sismica, ma questo deve essere precisato chiaramente nella relazione

Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
 - Occorre principalmente valutare se la struttura ha subito danni che riducono in maniera sensibile la sua capacità portante nei confronti di azioni orizzontali
 - Nel giudizio, precisare sempre che si tratta di una valutazione comparativa (prima - dopo il danneggiamento da sisma) e non assoluta

Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il grado di sicurezza dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche
 - Si parla, in genere, di valutazione della vulnerabilità dell'edificio

Valutazione della vulnerabilità di un edificio esistente

In genere quando si parla di "valutare la vulnerabilità di un edificio esistente" si intende:

- Determinare quale valore dell'accelerazione di picco al suolo porta al raggiungimento del limite di resistenza (o di deformazione plastica) della struttura
 - Si tratta di una analisi deterministica, non probabilistica
 - Rientra nell'ambito della valutazione della sicurezza (NTC 08, punto 8.3), come meglio specifico nella Circolare (punto C8.3)

Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il grado di sicurezza dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche
- Progettare interventi per il miglioramento o adeguamento sismico dell'edificio

Quando siamo chiamati ad occuparci di edifici esistenti?

Le costruzioni esistenti devono essere verificate quando ricorre una delle seguenti situazioni:

- Riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa per azioni ambientali (sisma o altro)
- Significativo degrado dei materiali
- Eventi eccezionali (incendi, esplosioni)
- Deformazioni significative dovute a cedimenti di fondazione
- Gravi errori di progetto o costruzione
- Cambio di destinazione d'uso con variazione significativa dei carichi

Perché occorrono norme specifiche
per gli edifici esistenti?

ovvero, che differenza c'è
tra nuove costruzioni e costruzioni esistenti?

considerazioni generali

Nuove costruzioni

Il progettista ha piena libertà per definire:

- Geometria della struttura
- Dettagli costruttivi
- Materiali

Il progettista può quindi:

- Fare le scelte opportune per consentire alla struttura un buon comportamento durante il sisma

Ad esempio:

- Edifici in c.a.: Gerarchia delle resistenze
- Edifici in muratura: Evitare collasso delle pareti fuori piano

Costruzioni esistenti

È tutto già definito:

- Geometria della struttura
- Dettagli costruttivi
- Materiali

Il comportamento sarà diverso da quello ideale desiderato:

Ad esempio:

- Edifici in c.a.: Rischio di rotture fragili o collasso di piano
- Edifici in muratura: Rischio di collasso delle pareti fuori piano

Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Nascono problemi specifici:

- Conoscenza della struttura
- La costruzione riflette lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione
- La costruzione può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili
- La costruzione può aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) od altre azioni accidentali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti
- La costruzione può presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria

Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Nascono problemi specifici:

- Conoscenza della struttura
- Per svolgere qualsiasi tipo di analisi è necessario conoscere meglio possibile l'organismo strutturale, nello stato effettivo in cui si trova
- Non è possibile raggiungere la conoscenza "completa" di un edificio esistente, per cui vi saranno sempre dei margini di incertezza
- Nella valutazione della sicurezza o nella progettazione degli interventi occorre tener conto del margine di incertezza corrispondente al livello di approfondimento conseguito

Valutazione della sicurezza di una costruzione esistente

Problematiche:

- Conoscenza della struttura
- Modellazione della struttura
- La geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive
- La conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo dell'omogeneità dei materiali all'interno della costruzione e del livello di approfondimento delle indagini
- I carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini

Valutazione della sicurezza di una struttura esistente

Problematiche:

- Conoscenza della struttura
- Modellazione della struttura
- Analisi globale del comportamento della struttura
- Può essere opportuno utilizzare metodi di analisi più sofisticati di quelli usati per le nuove costruzioni (ad esempio analisi non lineari)
- La scelta dei metodi di analisi e verifica dipende dalla completezza ed affidabilità della informazione disponibile
- Nelle verifiche occorre usare adeguati coefficienti di sicurezza ("fattori di confidenza"), per tener conto del livello di conoscenza raggiunto

Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più **livelli di prestazione**

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi **livelli di intensità sismica**

Normativa americana FEMA

Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Livelli di prestazione

Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite di Esercizio

Non richiesto
per edifici esistenti

Stato Limite di Operatività - SLO

NTC 08, punto 8.3

Danni estremamente modesti agli elementi non strutturali, tali da non compromettere in alcun modo la funzionalità dell'edificio

Stato Limite di Danno - SLD

Danni modesti agli elementi non strutturali e quasi nulli a quelli strutturali. L'utilizzo dell'opera dopo il sisma dovrebbe essere consentito, anche se alcune funzionalità potrebbero risultare compromesse

Danno Limitati, DL nell'OPCM 3431
Damage Limitation, DL nell'EC8-3

Livelli di prestazione

Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite Ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV

Significativi danni agli elementi strutturali e non strutturali.
Esiste ancora un consistente margine nei confronti del collasso.
La funzionalità dell'edificio è compromessa

Danno Severo, DS nell'OPCM 3431
Significant Damage, SD nell'EC8-3

Stato Limite di prevenzione del Collasso - SLC

La capacità dell'edificio di portare azioni orizzontali e verticali è compromessa. L'uso dell'edificio dopo l'evento sismico comporterebbe un sensibile livello di rischio

Collasso, CO nell'OPCM 3431
Near Collapse, NC nell'EC8-3

Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento" V_R
della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in V_R anni	30 anni
Occasionale	63% in V_R anni	50 anni
Raro	10% in V_R anni	475 anni
Estremamente raro	5% in V_R anni	975 anni

SLV

SLC

* Per $V_R = 50$ anni

Valutazione della sicurezza

Occorre fare riferimento solo allo stato limite ultimo

- SLV oppure SLC

Occorre stabilire se:

- L'uso della costruzione può continuare senza interventi
- L'uso può continuare ma con un declassamento
- Occorre aumentare o ripristinare la capacità portante

Tipi di intervento

Adeguamento:

- Intervento sulla struttura che le conferiscono i livelli di sicurezza richiesti dalle norme vigenti

Miglioramento:

- Intervento sulla struttura per aumentarne globalmente la sicurezza, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle norme vigenti

Intervento locale:

- Intervento su porzioni limitate della struttura, senza sostanziali modifiche del comportamento globale

Miglioramento o adeguamento?

L'adeguamento è obbligatorio quando ricorre anche una sola delle tre condizioni seguenti:

- La costruzione viene ampliata o sopraelevata
- I carichi globali in fondazione aumentano più del 10% (per variazione di destinazione d'uso o altro)
- Gli interventi strutturali modificano in maniera sostanziale il comportamento complessivo della costruzione

Edifici in cemento armato

Livelli di conoscenza

Livelli di conoscenza

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali
LC1 limitata	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ
LC2 adeguata		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ
LC3 accurata		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ

Dati necessari e fonti

Dati necessari:

- Identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità indicati al punto 4.3. Quanto sopra sarà ottenuto sulla base dei disegni originali di progetto opportunamente verificati con indagini in-situ, oppure con un rilievo ex-novo;
- Identificazione delle strutture di fondazione;
- Identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato al punto 3.1;
- Informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
- Informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- Informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, etc.);
- Informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle azioni sismiche di progetto;
- Descrizione della destinazione d'uso attuale e futura dell'edificio con identificazione della categoria di importanza, secondo i punti 2.5 e 4.7;
- Rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- Informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

Dati necessari e fonti

Dati necessari:

- Geometria delle strutture in elevazione e in fondazione
- Categoria di suolo
- Particolari costruttivi
- Caratteristiche dei materiali
- Danni e degradi della struttura

Fonti per l'acquisizione dei dati:

- Informazioni storiche (norme utilizzate, modifiche, ecc.)
Analisi storico-critica (NTC08, punto 8.5.1)
- Documenti di progetto
- Rilievo (NTC08, punto 8.5.2)
- Indagini in situ e in laboratorio
Caratterizzazione meccanica dei materiali (NTC08, punto 8.5.3)

Dati necessari e fonti

8.5.1 ANALISI STORICO-CRITICA

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

8.5.2 RILIEVO

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

8.5.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su 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 beni culturali e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione del bene. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Conoscenza limitata (LC1)

Geometria:

- Nota in base ad un rilievo o dai disegni originali (convalidati da rilievo visivo a campione).
Dati orientati alla messa a punto di un modello di analisi lineare.

Dettagli Costruttivi:

- Non disponibili dai dati progettuali; devono essere desunti da una progettazione simulata. Sono necessarie limitate verifiche in situ. I dati raccolti servono come base per verifiche locali di resistenza.

Proprietà dei materiali:

- Non disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova. Si adotteranno valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ sugli elementi più importanti.

Conoscenza adeguata (LC2)

Geometria:

- Nota in base ad un rilievo o dai disegni originali (convalidati da rilievo visivo a campione).

Dettagli Costruttivi:

- Noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti (integrati da una limitata verifica in-situ di armature e collegamenti tra gli elementi più importanti).

Proprietà dei materiali:

- Disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova (integrati da limitate prove in-situ, che forniscano valori non minori di quelli previsti), o da estese verifiche in-situ.

I dati raccolti saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare ed effettuate verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi non lineare.

Conoscenza accurata (LC3)

Geometria:

- Nota in base ad un rilievo o dai disegni originali (convalidati da rilievo visivo a campione).

Dettagli Costruttivi:

- Noti o da un'esaustiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali (integrati da una limitata verifica in-situ di armature e collegamenti tra gli elementi più importanti).

Proprietà dei materiali:

- Disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova (integrati da estese prove in-situ, che forniscano valori non minori di quelli previsti), o da esaustive verifiche in-situ.

I dati raccolti saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare ed effettuate verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi non lineare.

Geometria (carpenterie)

- **Disegni originali di carpenteria:** descrivono la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettono di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali.
- **Disegni costruttivi o esecutivi:** descrivono la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettono di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali. Contengono la descrizione della quantità, disposizione e dettagli costruttivi di tutte le armature, nonché le caratteristiche nominali dei materiali usati.
- **Rilievo visivo:** serve a controllare la corrispondenza tra l'effettiva geometria della struttura e i disegni originali di carpenteria disponibili. Comprende il rilievo a campione della geometria di alcuni elementi. Nel caso di mancato riscontro, sarà eseguito un rilievo completo.
- **Rilievo completo:** serve a produrre disegni completi di carpenteria (se quelli originali sono mancanti o se non vi è corrispondenza tra questi e l'effettiva geometria). I disegni prodotti dovranno descrivere la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettere di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali con lo stesso grado di dettaglio proprio di disegni originali.

Dettagli costruttivi

- **Progetto simulato:** serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. Deve essere eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all'epoca della costruzione.
- **Verifiche in-situ limitate:** servono per verificare la corrispondenza tra le armature o le caratteristiche dei collegamenti effettivamente presenti e quelle riportate nei disegni costruttivi, oppure ottenute mediante il progetto simulato.
- **Verifiche in-situ estese:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali come alternativa al progetto simulato seguito da verifiche limitate, oppure quando i disegni costruttivi originali sono incompleti.
- **Verifiche in-situ esaustive:** servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).

Proprietà dei materiali

- **Calcestruzzo:** la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.
- **Acciaio:** la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza e deformazione ultima, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova di entità conforme a quanto richiesto per le nuove costruzioni, nella normativa dell'epoca.
- **Metodi di prova non distruttivi:** Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli sopra descritti, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso del calcestruzzo, si adotteranno metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza.
- Prove in-situ limitate
- Prove in-situ estese
- Prove in-situ esaustive

Verifiche

limitate, estese, esaustive

	Rilievo (dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)}
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si terrà conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive