

PIERO POZZATI

Professore Emerito di Tecnica delle costruzioni dell'Ateneo di Bologna

IL CONVENZIONALISMO NEL CALCOLO STRUTTURALE SISMICO

Il Comitato di Redazione della Rivista INARCOS è lieto di pubblicare gli interventi di prolusione e chiusura tenuti dal prof. ing. Piero Pozzati nell'ambito del "Corso di aggiornamento sui criteri di progettazione in zona sismica" svolto presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna nel periodo 5 marzo-12 giugno 2004, ed esprime un vivo ringraziamento al prof. Pozzati per avere prontamente accolto la richiesta di rendere partecipe i nostri lettori di queste importanti considerazioni.

SOMMARIO

La relazione è stata tenuta il 5 marzo 2004 presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna, all'apertura del Corso di Ingegneria antisismica diretto dal prof. Pier Paolo Diotallevi. Ha riguardato il carattere convenzionale e approssimato di gran parte delle analisi strutturali sismiche. Per tale ragione occorre correlare l'affinamento delle approssimazioni di tali analisi con le convenzioni adottate.

SUMMARY

The lecture was held on March 5th 2004 at the Faculty of Engineering of Bologna University to celebrate the opening of the Course in Aseismic Engineering supervised by Prof. Pier Paolo Diotallevi. It dealt with the conventional and approximate nature of most structural analyses, in particular in the field of seismic assessments. In view of the above, the necessity of relating the improved approximate nature of the analyses to the adopted conventional hypotheses has been strongly emphasised.

1. PREMESSA

a) Ringrazio sentitamente l'amico prof. Pier Paolo Diotallevi, Coordinatore di questo Corso, per l'invito cordialissimo a collaborare, seppure nella modesta misura che mi è possibile: Corso che, promosso dalla Facoltà di Ingegneria, dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna e dalla Fondazione degli Ingegneri, ha piena sintonia culturale con la già collaudata iniziativa del nostro Ateneo di organizzare programmi di istruzione permanente post-lauream per potere seguire, a valle degli insegnamenti istituzionali, l'evoluzione incessante e rapida di vari settori del sapere e soprattutto della tecnica.

Francamente da tempo mi ero ripromesso di restare appartato a causa dell'età. Ma ho finito poi per accettare il predetto invito, temendo che il mio silenzio potesse venire interpretato come insensibilità al travaglio che sta attraversando il mondo degli ingegneri: a causa di una fase instabile degli orientamenti generali, e in particolare delle normative, con la tendenza a indebolire la saldezza delle istituzioni. E sembrandomi che tutto questo ribollire di norme, nonché di corsi di lezioni ad esse pressoché esclusivamente dedicati e spesso avulsi da inquadramenti culturali, aumenti il disorientamento e il disagio degli ingegneri progettisti; per cui è auspicabile che sopravvivano tempi più tranquilli e ordinati.

Ma, a proposito della mia partecipazione a questo Corso, desidero aggiungere che, come certamente immaginate, sul mio

assenso molto ha contato anche la possibilità di ritrovare indimenticabili ex-studenti e cari amici, che qui vedo con una certa mia preoccupazione per la consapevolezza di avviarmi a raccontare alcune riflessioni di scarsa rilevanza. Riflessioni che, riportando inevitabilmente il pensiero al passato, mi rendono ancor più vivo il ricordo di notevoli contributi di Amici che dell'ingegneria antisismica furono precursori nel nostro paese: mi riferisco in particolare, tra essi, ai professori Giuseppe Grandori, Alberto Castellani, Carlo Gavarini. b) Di parlare di "convenzionalismo" ritenni opportuno allorché mi capitò di leggere, in tema di normativa sismica, la dichiarazione di voler abbandonare il carattere convenzionale delle norme tradizionali, facendo intendere con ciò, di conseguenza, la volontà di trattare quelle nuove con rigore. Allora a me sembrò che tale presa di posizione, riguardante la visione generale del problema delle normative, fosse meritevole di qualche precisazione, perché tutte le normative, e in generale tutte le procedure di valutazione e di calcolo della tecnica, si debbono in realtà basare frequentemente su convenzioni. Infatti, la cultura del nostro tempo, non più collegata alla ricerca disinteressata del sapere, è in genere tutta protesa alle soluzioni pratiche degli innumerevoli problemi proposti senza tregua dalla tecnica o all'attenzione della stessa tecnica. Per cui, a causa delle difficoltà che tali problemi comportano, spesso insormontabili in termini rigorosi, nonché a causa della sempre più estesa richiesta delle loro soluzioni, si impongono trattazioni il più possibile semplificate, introducendo particolari ipotesi ed abdicando al rigore.

Pertanto sia la scienza applicata, sia la tecnica, sempre più strettamente unite, presentano in genere, al nostro tempo, un tipico carattere convenzionale. Del quale però ciò che maggiormente importa è, più che il grado di approssimazione inevitabilmente legato alle convenzioni introdotte, l'accertamento della capacità di captare i fondamentali aspetti dei fenomeni che si intende di studiare. Ma vedremo in seguito altre questioni relative al convenzionalismo, il quale risponde, oltre alla predetta necessità contingente di soluzioni e semplificazioni, a una sorta di inevitabile evoluzione del cammino umano della conoscenza, la quale più si approfondisce, più rende difficile l'incanto della fede e della ricerca della verità assoluta. Per cui mi permetto di fare, qui di seguito, qualche preliminare cenno a tale evoluzione, che si connette col tema dei metodi di calcolo e delle normative; chiedendoVi sin da ora scusa per qualche noiosa citazione e per banali e troppo rapidi richiami.

2. La ricerca della verità assoluta si spezza in quella di una pluralità di verità particolari

Nei pochi decenni compresi tra la fine del secolo XVI e l'inizio del XVII, la gloriosa e gigantesca cultura occidentale subì – per

dir la cosa in tema con il Corso – un vero “terremoto” con una radicale revisione della mirabile tradizione filosofica di circa 2 millenni, interamente incentrata *sulla ricerca della verità assoluta e sulla causa ultima delle vicende umane*.

Fu un vento impetuoso di radicali cambiamenti che spostò la ricerca dalla verità unica a quella delle innumerevoli *verità particolari*, considerate ancora manifestazioni di un’armonia suprema e unitaria, ma conquistabili con l’ausilio della scienza. E, in merito all’impotenza a proseguire nel rigore di una ricerca riguardante tutta il solo fine della verità assoluta, resta paradigmatica, a titolo di esempio, la severa sentenza di Galilei (1564-1642), data nel suo “Dialogo”, 127 (P. Rossi, “La filosofia”, II, 64): “...questa così vana prosunzione di intendere il tutto non può aver principio da altro che dal non aver mai inteso nulla...”. Così – osserva giustamente Emanuele Severino (“Filosofia contemporanea”, 21) – la filosofia cessa di essere metafisica e si spezza in una pluralità di teorie particolari, future sedi di ricerche specializzate, quali astronomia, medicina, psicologia, storiografia, ecc.; e queste a loro volta si segmenteranno ulteriormente sotto la spinta della tecnica.

3. Le verità “condizionate” – Il “convenzionalismo”

a) Infatti, a proposito dei processi innovativi catalizzati dalla tecnica, nel XVIII secolo iniziarono a modificarsi profondamente – a causa dell’invenzione delle macchine – le strutture economiche e sociali di vari paesi. In particolare si diffuse dall’Inghilterra “la rivoluzione industriale” con l’organizzazione della fabbrica, del lavoro a catena, della produzione di massa, e con incessanti progressi tecnico-scientifici sospinti dal progetto (propugnato principalmente da Adam Smith, del quale nel 1746 venne pubblicata la sua opera fondamentale “...The Wealth of Nations”) di un ideale benessere collettivo che attinse indubbiamente grandi risultati, ma si rivelò anche non disgiunto da gravi problemi sociali. Per cui da tali risultati derivarono la maturazione e lo sviluppo di una densa ramificazione delle tecniche e di una sorta di “religione materialistica”, basata su una conoscenza che si appagava soprattutto dei successi, per la verità spesso grandiosi, attinti dalla tecnica; “religione” della quale ci troviamo tutt’ora prigionieri.

b) E in questo clima che nasce il convenzionalismo, a proposito del quale può essere opportuno qualche chiarimento, prima di entrare nel vivo dei nostri problemi, riprendendo anche alcune osservazioni di una mia lontana nota del 1987. Secondo il convenzionalismo, si tende a definire per ogni campo del sapere particolari ipotesi e proprietà di base approssimative, o particolari limitazioni ai principi utilizzati, ossia convenzioni aventi validità limitata, ma dirette possibilità concrete di applicazioni, proprio in vista delle quali esse vengono sancite. Ma è soltanto all’inizio del Novecento che il convenzionalismo trova il suo battesimo ufficiale e il suo primo inquadramento nella ricerca scientifica principalmente da parte di Henry Poincaré, nella sua fondamentale opera “La scienza e l’ipotesi” (1902), e da Pierre Duhem, storico della scienza. Il carattere del convenzionalismo – ha osservato giustamente il filosofo Ludovico Geymonat – è di essere per definizione né vero, né falso, ma soltanto utilizzabile entro certi limiti. È vero che può apparire una sorta di anarchia scientifica, ma ha dato luogo alle premesse di vere rivoluzioni soprattutto tecniche, ed è alla base dell’attuale atteggiamento dell’uomo nel processo delle conoscenze. Anche la scienza e la tecnica delle costruzioni, ad esempio, sono intrise di convenzioni, senza le quali non sarebbe stato pos-

sibile realizzare e garantire certe mirabili strutture. Inoltre il convenzionalismo, strettamente e inevitabilmente connesso con il frazionamento spinto del problema della conoscenza – causa di rilevanti aspetti deteriori –, si sviluppa partendo da basi che, essendo convenzionali, sono soggette a frequenti mutamenti: quindi produce un senso oscuro di provvisorietà e incertezza, continue velleità di ulteriori cambiamenti. Ovviamente non intendo esprimere un giudizio assoluto, ma intendo soltanto sottolineare che questa è stata ed è tutt’ora la tendenza: uno dei maggiori pericoli delle minute e non collegate segmentazioni della cultura tecnica facilitate dal convenzionalismo – pericolo ancor più grave di quello delle due culture analizzato da Charles Snow, relativamente all’incomprensione tra scienziati e umanisti – è che si costituisca una miriade di piccole culture, ognuna delle quali tende a sopravvalutare la propria parte di conoscenze e di possibilità di intervento pratico, e a ignorare le altre. In tale modo favorendo l’isolamento dell’uomo, e indebolendo o annullando il senso della responsabilità, collegato invece alla percezione dei problemi globali: infatti, chi coltiva un piccolo campo dell’attività umana ovviamente non ha responsabilità generali e non è portato a considerarle; inoltre si è responsabili di qualcosa se si è liberi di prendere delle decisioni in merito ad essa. Quindi la responsabilità, collegandosi strettamente alla libertà, costituisce un diritto fondamentale dell’uomo. A questo punto, a scanso di equivoci e in vista di questioni da considerare nel seguito, può essere opportuno precisare anche che, ovviamente, non tutta la scienza applicata e non tutta la tecnica hanno carattere convenzionale, intendendo per convenzione un’*intesa* in merito alle caratteristiche approssimative da attribuire a un dato fenomeno o comportamento. Inoltre il convenzionalismo è non di rado oggetto di pregiudizi negativi, mentre nel suo ambito la cultura può contare discipline di grande tradizione, sorrette da logiche e coerenze ineccepibili; discipline, dunque, che anche sotto l’aspetto formativo possono svolgere un ruolo primario. Ma un fatto generale appare rilevabile: ed è la tendenza – pur con tutte le deviazioni da un processo quanto mai tortuoso – verso un sempre più radicale pragmatismo, che rende inevitabile il fiorire di una miriade di convenzioni e di conoscenze specializzate.

4. Lo sviluppo delle norme collegate al convenzionalismo – Le norme sismiche

Chiaramente tale esplosione di culture tecniche minori, spesso disgiunte tra loro nell’incessante e sempre più spinta trasformazione, tipica del progresso, dell’omogeneo in sue frammentazioni, ha dato luogo nell’ambito della tecnica e in particolare di quello della tecnica delle costruzioni a un gigantesco accrescimento di nozioni e di metodi di calcolo particolari. Da qui la necessità di un riordino e di una sintesi in regole, istruzioni e norme che costituiscono la naturale appendice del convenzionalismo. Le norme sono quindi figlie della cultura tecnica del momento, e in quanto tali continuamente si evolvono nella prassi e nell’emergere di nuove culture, diverse per ipotesi e proposte, ma pur sempre accomunate da un sostanziale – anche se mutevole nel suo peso – carattere convenzionale.

Così è in particolare per le norme riguardanti la sismica, e tra le numerose convenzioni che le alimentano mi permetto di far cenno ad alcune che si ritrovano comuni – anche se con diverso grado di evidenza – alle radici delle stesse norme.

4.1 Il valore dell'azione sismica – Lo spettro di risposta elastico

Ovviamente nella verifica di resistenza delle costruzioni in zona sismica è di fondamentale importanza la valutazione dell'azione sismica, la quale dipende in primo luogo dai prevedibili movimenti del terreno e dalle caratteristiche della struttura, ossia dalla sua risposta ai movimenti impressi alla sua base. Per il calcolo della risposta, si fa emblematico riferimento a quella del cosiddetto oscillatore elementare elastico (fig.1), comprendente una sola massa m concentrata, un solo grado di libertà (lungo il quale si sviluppa il movimento $x(t)$), supposto elastico, della stessa massa), uno schematico smorzatore con azione dissipativa proporzionale alla velocità del moto. Sotto tali condizioni è nota la soluzione dell'equazione differenziale che esprime l'equilibrio dinamico delle forze agenti sulla massa. Così, data una qualunque registrazione delle accelerazioni orizzontali (accelerogramma) del moto impresso al suolo da un sisma, è possibile calcolare il diagramma, o spettro (fig.2), dei valori massimi S_e delle accelerazioni indotte nell'oscillatore (l'indice e ci ricorda l'ipotesi della elasticità); quindi tracciare anche i diagrammi S_e/a_g , essendo a_g l'accelerazione orizzontale massima del moto impresso, ed essendo le accelerazioni S_e date in funzione dei periodi propri T dello stesso oscillatore e di un assegnato valore limitato del coefficiente di smorzamento.

È possibile quindi ripetere il predetto calcolo per i più severi accelerogrammi disponibili relativi ad una certa zona, e tracciare l'involuppo dei vari diagrammi. Ricavando infine, opportunamente arrangiato e stilizzato, il diagramma della fig. 3, detto "spettro di risposta elastico": il quale consente di ricavare il valore massimo S_e delle accelerazioni elastiche indotte in funzione del periodo proprio T dell'oscillatore, mentre i vari valori caratteristici a_g, S, T_B, T_C, η (coefficiente di smorzamento) che figurano nei calcoli sono assegnati dalle norme per alcune rilevanti situazioni locali riguardanti la classificazione delle zone sismiche, nonché le caratteristiche del suolo.

Si può poi passare dall'oscillatore elementare elastico alla struttura elastica a più gradi di libertà, riconducendo lo studio del moto a quello di vari oscillatori elementari elastici (analisi modale); mentre per gli edifici, e sotto certe condizioni, si può applicare l'analisi semplificata cosiddetta "statica", molto con-

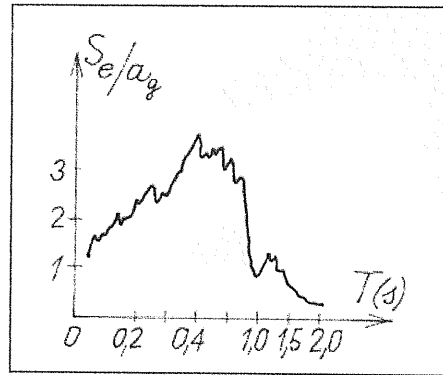


Figura 2 - Massima acceleraz. S_e dell'oscillatore elastico per un'assegnata accel. a_g impressa.

geniale agli ingegneri. Chiaramente tale "spettro di risposta elastico" e l'azione sismica che con esso si può calcolare sono il risultato di numerose pesanti semplificazioni e convenzioni, tra le quali conviene ricordare quelle della linearità, del riferimento all'oscillatore elementare, della generalizzazione dello spettro di risposta, delle masse concentrate, dell'assenza di interazioni tra terreno e struttura. Inoltre – ed è un fatto di notevole rilevanza – non è stata tenuta in alcun conto, a causa dell'ipotesi della linearità, la duttilità della struttura, che invece può avere, come ricorderemo qui di seguito, importanza basilare sull'intensità dell'azione sismica e sulle riserve di resistenza dell'intera costruzione.

4.2 L'influenza della duttilità sul valore massimo dell'azione sismica: dallo spettro elastico allo spettro di progetto per lo stato limite ultimo.

a) L'Eurocodice EC8 ha il merito di avere dato evidenza all'imprescindibile influenza benefica della duttilità sul comportamento sismico delle strutture.

Per duttilità di un materiale si intende la prerogativa che in genere esso ha di manifestare, a causa dei cedimenti plastici, una crescente arrendevolezza alle deformazioni con il progredire delle sollecitazioni; ed è una prerogativa che può essere molto variabile per i diversi materiali da costruzione, essendo ad esempio molto duttili gli acciai dolci, ma pochissimo i calcestruzzi (fig. 4), per i quali la duttilità indicata teoricamente dalle norme ha addirittura significato convenzionale.

Chiaramente la duttilità del materiale si riflette sul comportamento delle strutture, per la cui duttilità quella delle sezioni è premessa indispensabile. Facendo riferimento al solito caso elementare, e considerando la massa soggetta ad una azione F regolarmente crescente, il diagramma forze F – spostamenti x (fig. 5a) può essere assimilato a quello ideale "elasto-plastico" 0-1-2 (fig.5b), costituito soltanto da due fasi di elastici-

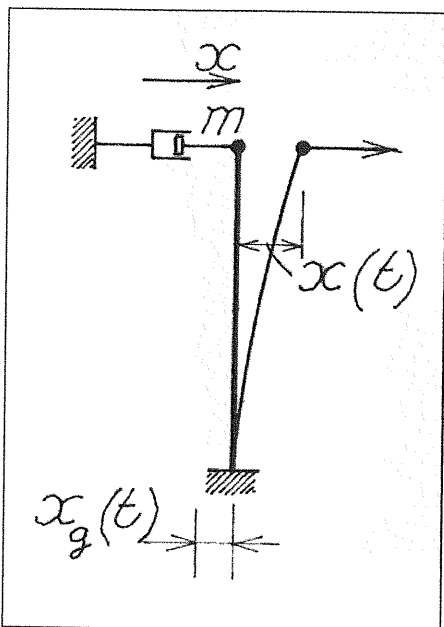


Figura 1.

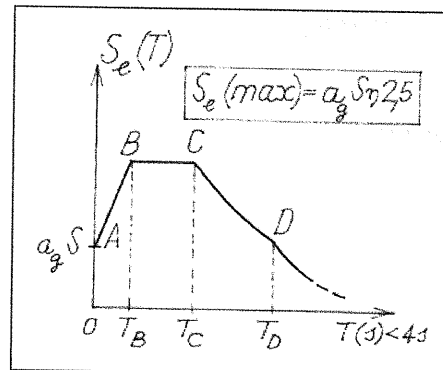


Figura 3 - Spettro di risposta elastico.

tà e plasticità perfette. Per cui, se x_e e x_u sono gli spostamenti estremi delle due fasi, il rapporto $\mu = x_u/x_e$ può essere definito "duttilità strutturale".

Facendo compiere all'azione F il ciclo completo 0-1-2-3, l'area racchiusa dal diagramma misura la dissipazione di energia (fig.5), che gioca un ruolo fondamentale potendo dar luogo sia allo smorzamento delle oscillazioni libere, sia a un abbattimento drastico del valore dell'azione sismica considerata in regime elastico: abbattimento conseguente principalmente al fatto che l'insorgere delle deformazioni duttili comporta l'indebolimento della rigidità del sistema, quindi l'aumento del suo periodo fondamentale di oscillazione e il conseguente acquietarsi della stessa oscillazione (la quale tende infatti a estinguersi con il tendere del periodo all'infinito).

b) Detto ciò, torniamo con il pensiero allo spettro di risposta che fornisce il valore dell'accelerazione S_e (quindi dell'azione sismica) in un ipotetico regime elastico.

È chiaro che, utilizzando tale spettro elastico sino allo stato limite ultimo della struttura, sarebbe inevitabile - avvicinandoci allo stato ultimo - lo sconfinamento in condizioni di sollecitazione fuori dall'elasticità, per le quali la duttilità può essere, come si è detto, fondamentale nell'abbattere il valore dell'azione sismica. Per cui - si trova ciò indicato ad esempio nell'EC8 - il valore dell'azione sismica calcolato nell'ambito elastico deve essere ridotto dividendolo per un "fattore di struttura" q .

Lo spettro di risposta S_e , così abbattuto viene usualmente detto "spettro di progetto per lo stato limite ultimo" (fig.6).

Al fattore di struttura " q " debbono essere assegnati valori spesso elevati e sensibili a varie condizioni, tra le quali segnatamente: tipologia strutturale, materiale impiegato, natura delle sollecitazioni, estensione delle plasticizzazioni, configurazione della struttura a collasso. Pertanto, come si è detto, si deve correggere la fase del calcolo convenzionale (quella elastica) introducendo alterazioni con l'impiego del fattore " q " che spesso ha valore, oltretutto elevato come si è detto, molto incerto.

Mi spiego meglio con il banale ricorso a un paio di numeri, anche per dare idea di un possibile ordine di grandezza dello stesso fattore q .

Pensiamo che, per una certa struttura di c.a. costituita da telai a più campate e a più piani, l'azione orizzontale sismica complessiva, dedotta dalla convenzione elastica, abbia il valore $F_e = 10.000$ kgf, e che sia $q=5$ il valore del coefficiente di struttura, assegnato dalle norme in relazione soltanto al materiale e alla tipologia della stessa struttura. Allora - accennando alle cose in via appena indicativa - l'azione di progetto vale $F_p = 10.000/5 = 2000$ kgf, valore di tutt'altro ordine di grandezza rispetto a quello assunto alla base del calcolo. Ma, evidentemente, è legittimo immaginare che il valore $q=5$, fortemente convenzionale, possa essere suscettibi-

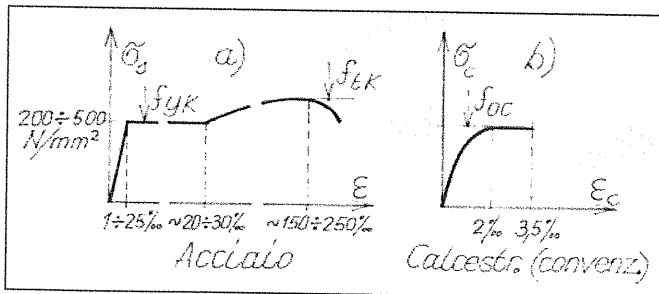


Figura 4.

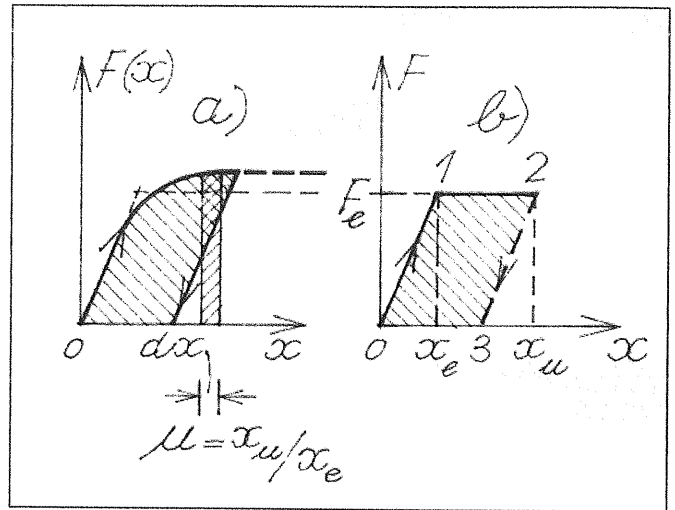


Figura 5.

le di notevoli correzioni, perché certamente esso risente, come si è detto, di varie altre cause aventi con probabilità peso notevole, perché riguardano una correzione che può essere stravolgente rispetto alla situazione di partenza.

Quindi è opportuno rendersi conto se l'entità di certi coefficienti fissati dalle norme (che spesso con un semplice numero intendono interpretare fenomeni complessi, come per l'appunto si ha col fattore " q ") sia veramente attendibile; e controllare altresì se sussista coerenza tra eventuali affinamenti dei calcoli e certi pesanti presupposti convenzionali.

E tutto ciò per trarre le necessarie indicazioni sul piano progettuale.

A parte la considerazione che è eticamente riprovevole presentare come affidabile un calcolo che è invece poco credibile, ritengo che ogni progettista dovrebbe essere tenuto a esprimere un giudizio di affidabilità conclusivo alle elaborazioni di calcolo effettuate, traendo le debite conseguenze sulla scelta dei coefficienti di sicurezza; e penso che le norme dovrebbero evitare la categoricità nell'indicare vari valori numerici.

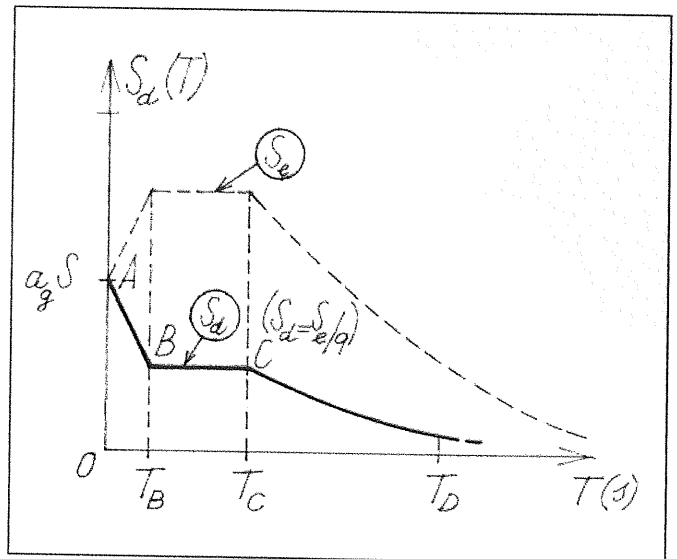


Figura 6 - Spettro di risposta di progetto S_e (per lo stato limite ultimo).

4.3 Qualche altra considerazione

a) I casi esaminati valgono a dare un'idea del fatto che, come ho già accennato, la scienza applicata e la tecnica (quindi le norme) non possono in genere sfuggire al convenzionalismo. Potrei proseguire citando altre numerose convenzioni ma, mancando il tempo, conviene, prima di avviarmi alla conclusione, ricordare almeno altri due fondamentali problemi – però un pò al di fuori dell'orizzonte del nostro tema – per i quali si è costretti ad attingere largamente alle convenzioni.

b) Mi riferisco alle difficili scelte di base riguardanti il rischio sismico cosiddetto “sostenibile” e le connesse analisi “costi-benefici”, che debbono essere considerati nella classificazione delle zone sismiche. È infatti inevitabile – nello stabilire le tutele nei confronti dell'evento sismico – la necessità di correlare il rischio, che non può essere ridotto a zero, con i corrispondenti presumibili e spesso convenzionali costi per l'eventuale perdita di vite umane, oltre che di beni culturali e di beni economici.

c) E mi riferisco anche alle estese convenzioni che si debbono forzatamente adottare nel giudicare la sicurezza degli innumerevoli edifici esistenti (molti addirittura fatiscenti), e nel deciderne i criteri di una eventuale verifica. Problema immane che tocca particolarmente la responsabilità di noi ingegneri, nonché la coscienza, anche per l'immensità dei costi, di tutto il nostro paese; problema etico che chiama in causa quello generale e politico dell'equilibrio nella distribuzione delle risorse che la collettività e i governi debbono destinare alla tutela dell'incolumità fisica delle persone e a quella del patrimonio storico-culturale.

5. Osservazioni conclusive

a) Abbiamo ripetutamente osservato che il convenzionalismo caratterizza il nostro tempo a causa sia di necessità, sia di ragioni evolutive storiche. Ma per non svuotarlo della sua importanza occorre mantenere viva la memoria delle convenzioni che legittimano le varie soluzioni di comodo impiegate, e anche viva la consapevolezza della “gerarchia di importanza” delle stesse soluzioni: gerarchia – come ho già osservato – definita, prima che da affinamenti delle approssimazioni, dagli aspetti rilevanti che, dalle convenzioni introdotte, possono essere messi in ombra, o addirittura a tacere. E a proposito di ciò può valere la pena di citare un esempio che ci interessa da vicino.

b) Si è ricordato anche che la duttilità gioca un ruolo in genere fondamentale per attutire gli effetti dei sismi sulle costruzioni, beneficiando la sicurezza di queste ultime.

Quindi il *metodo delle tensioni ammissibili*, pur con tutti i suoi pregi di semplicità e di evidenza, può dare soltanto – soprattutto nell'ambito dei problemi sismici – una rappresentazione sfocata e convenzionale della sicurezza, essendo incentrato sulla convenzione della linearità tra cause ed effetti, ed ignorando di conseguenza ogni possibile comportamento duttile. Ma quel che più conta, può indurre a ignorare considerazioni utili nella scelta e nel dimensionamento delle soluzioni strutturali sismicamente più idonee; e utili anche nell'assunzione di provvedimenti costruttivi opportuni per favorire il beneficio della duttilità.

Inoltre, sempre in tema di convenzionalismo, può essere opportuno ricordare che un riposto carattere convenzionale riguarderebbe persino lo stesso concetto di tensione, cardine del metodo delle tensioni ammissibili e della scienza delle costruzioni, introdotto e sviluppato (con grande parte delle

relative proprietà nel modo ancora oggi seguito) da Augustin Cauchy, a trentaquattro anni, in celebri memorie pubblicate a partire dal 1823. Infatti giova ricordare che, prima di tale tempo, un corpo elastico sotto carico era ritenuto – alla base di una corretta ma complessa “teoria molecolare” – sede di innumerevoli forze interne agenti tra le particelle contigue costituenti lo stesso corpo, e di attrazione o repulsione a seconda della vicenda deformativa. Per cui il concetto di tensione diede luogo a un esteso dibattito, possedendo carattere nuovo e lontano da quello intrinsecamente meccanico della “teoria molecolare”; e possedendo anche qualche aspetto convenzionale ripreso e illustrato – con intento sostanzialmente disquisitorio – da Edoardo Benvenuto nel capitolo “Riflessioni critiche sul concetto di tensione” della sua bella opera “Scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico”, del 1981.

Tuttavia la mirabile via aperta da Cauchy presto si impose per la sua straordinaria efficacia e venne rapidamente assimilata da scienziati e ingegneri di tutto il mondo.

c) Sotto il punto di vista dell'interpretazione della sicurezza strutturale, è invece preferibile il *metodo agli stati limite*, il quale nella sua enunciazione richiede con chiarezza di verificare che gli effetti delle azioni di calcolo agenti su una struttura siano adeguatamente inferiori a quelli caratterizzanti lo stato limite considerato (ossia lo stato limite ultimo, o quello di danno, ecc.). Riuscendo poi a mettere in conto comportamenti duttili, ma non potendo in genere eludere semplificazioni e convenzioni nella definizione degli stati limite di confronto; in particolare (se non si tratta di instabilità dell'equilibrio) nella definizione di quello della resistenza ultima, per la quale riappare il valore definito estremo della tensione, con convenzioni sulla diffusione di tale valore, ad esempio addensando l'eventuale processo duttile nello schema delle “cerniere plastiche”. Tuttavia i due metodi (delle “tensioni ammissibili” e degli “stati limite”) ammettono la possibilità di una loro parziale fusione nell'esame dello “stato limite di esercizio”, seppure applicato con diversi coefficienti di sicurezza. Può essere opportuno ricordare anche che, a causa della stretta simbiosi del metodo agli stati limite con la rappresentazione “semiprobabilistica” dei valori delle resistenze dei materiali e delle entità delle azioni, è necessario determinare gli effetti delle stesse azioni tenendo conto delle loro combinazioni; ciò che richiede spesso calcoli molto onerosi. Inoltre lo stesso metodo trova difficoltà di applicazione relativamente al terreno

d) Ma, oltre a queste osservazioni, mi sembra opportuno concludere osservando in via generale che, relativamente ai metodi di calcolo e alle normative, si debba evitare di dar loro importanza eccessiva, per non mettere in ombra la progettazione vera e propria. La quale ha nel calcolo soltanto una delle sue fasi, seppure fondamentale, mentre trova in altre questioni aspetti altrettanto qualificanti: intendo soprattutto la concezione generale delle strutture; l'armonica distribuzione delle masse; i particolari costruttivi; l'analisi dei problemi esecutivi e dei costi; l'esame critico del comportamento generale della costruzione comprendente anche, e non secondariamente, la presenza di elementi non strutturali e della parte del terreno coinvolta dalla struttura. Fatti, questi, che debbono entrare nel vivo del processo progettuale, divenendo una forza unica e ogni volta diversa. Fatti che non possono essere unitariamente colti da elaborazioni numeriche e computers come invece può riuscire a fare la mente umana con gli insostituibili ausili, peculiari soltanto ad essa, dell'intuizione, dell'inventiva, della fantasia, della creatività.

Vi ringrazio per la pazienza e l'attenzione con le quali mi avete ascoltato e Vi rinnovo il più cordiale saluto.