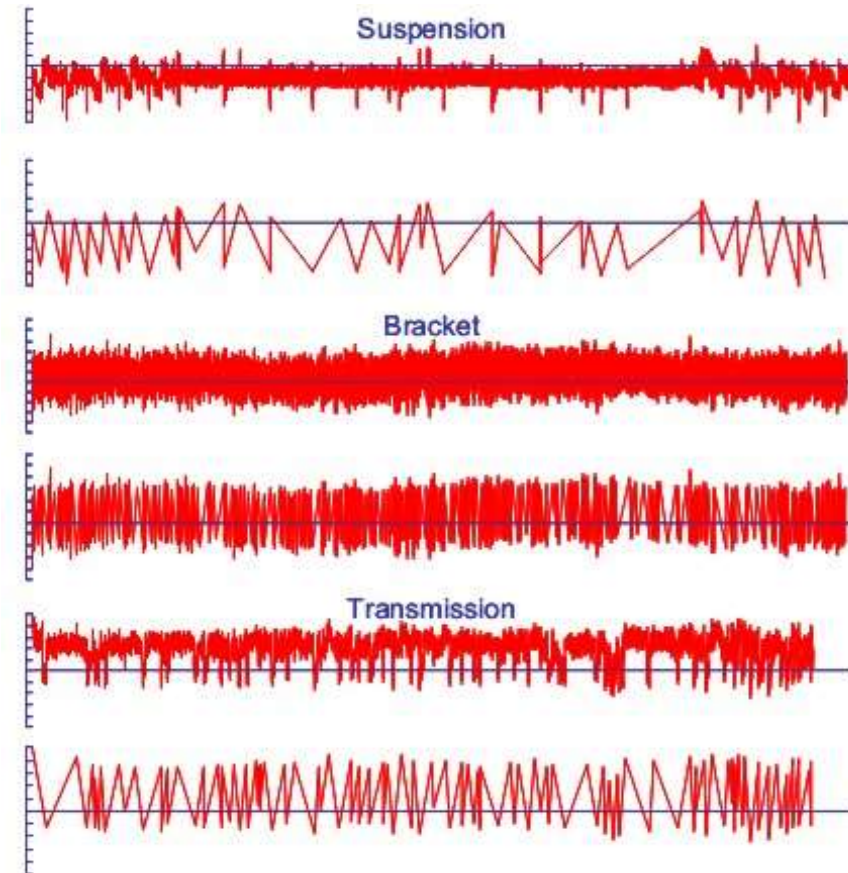


Fatica (HCF): conteggio dei cicli

Lecture 5 – Conteggio dei cicli

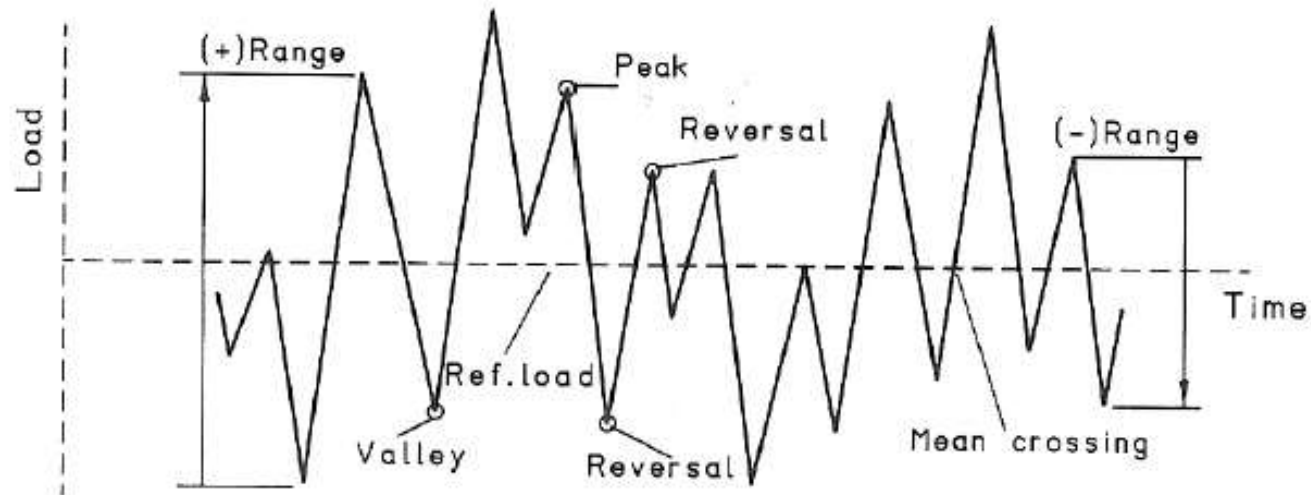
Introduzione

- Le strutture reali sono soggette a stati di sollecitazione che variano nel tempo in modo di solito estremamente complicato.
- Le storie di carico sono variabili in ampiezza e tensione media
- Non hanno un andamento sinusoidale: questa è una caratteristica della sola sollecitazione dovuta a flessione rotante che si realizza in laboratorio su campioni.
- Questo pone la necessità di definire dei metodi per la riduzione di spettri di carico complessi in modo da poterli gestire con gli strumenti classici della fatica.



Esempio di spettri di carico per elementi di auto

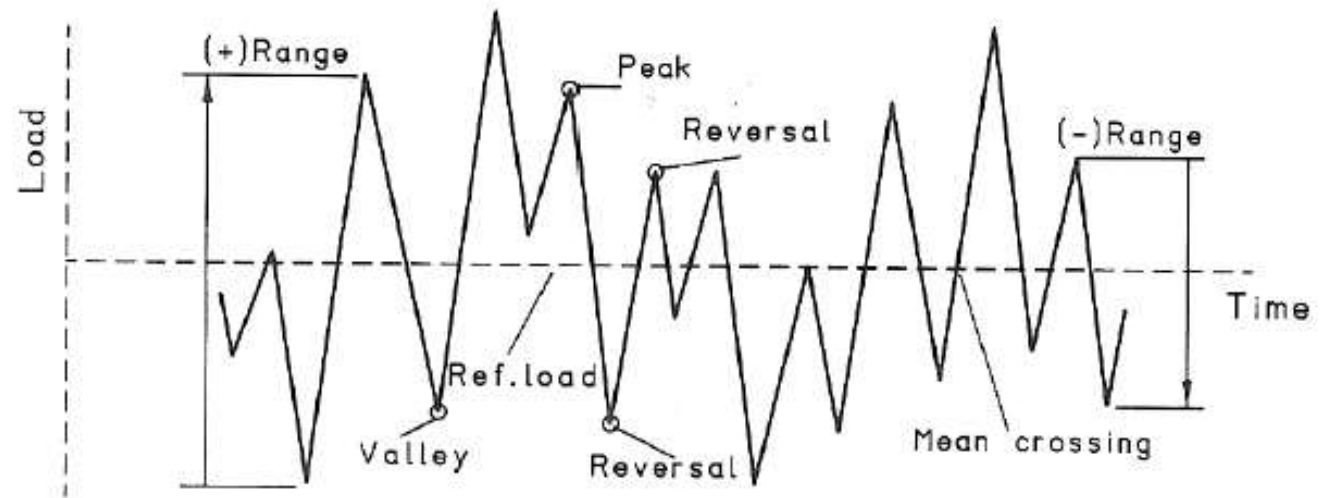
Caratterizzazione dei cicli irregolari



- Per necessità pratiche la storia dei carichi deve essere ridotta in modo da poter essere trattata pur mantenendo le informazioni caratteristiche della sollecitazione.
- La storia dei carichi può essere «spacchettata» in livelli di sollecitazioni singoli con associati il rispettivo numero di cicli
- Esistono differenti approcci per questa operazione che verranno illustrati di seguito

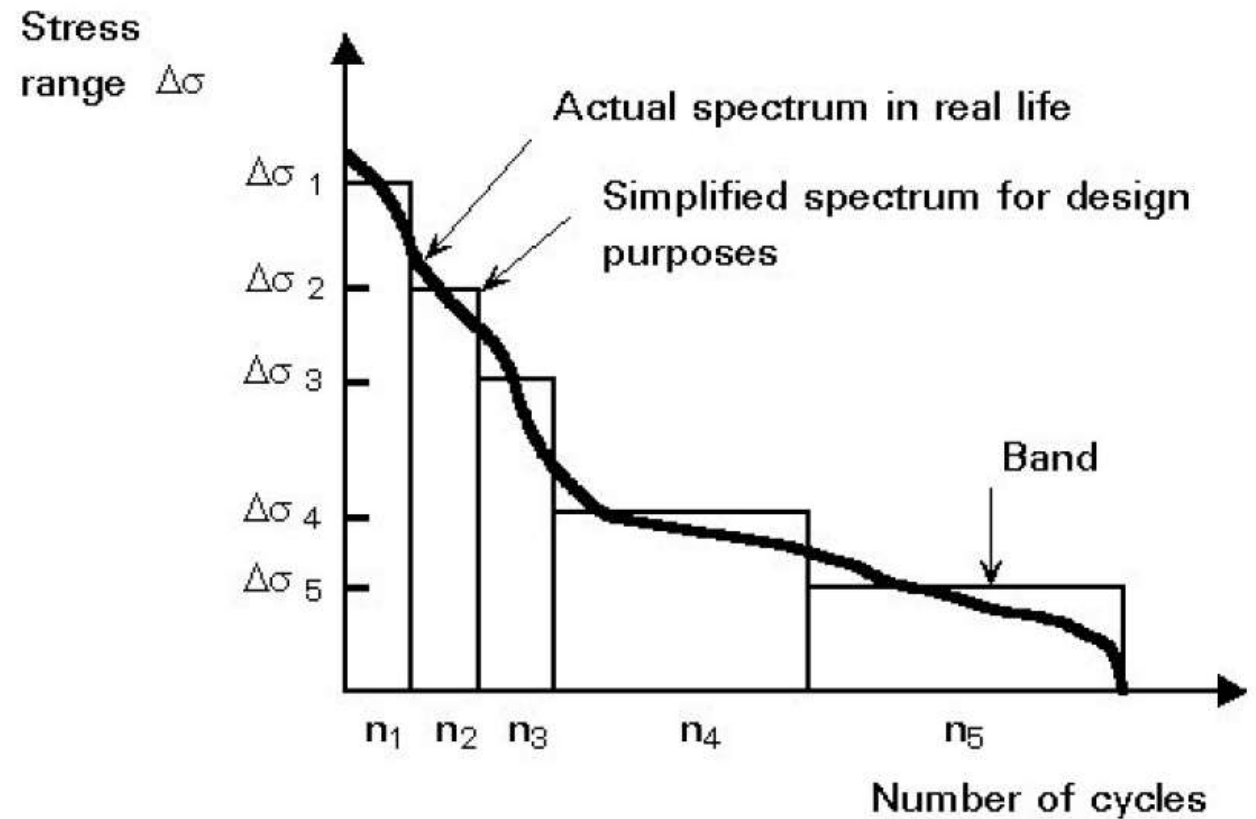
Caratterizzazione dei cicli irregolari: nomenclatura

- **Reversal (inversione):** la derivata della storia dei carichi cambia segno
- **Peak (picco):** la derivata della storia dei carichi cambia segno da positivo a negativo
- **Valley (gola):** la derivata della storia dei carichi cambia segno da negativo a positivo
- **Range (ampiezza):** differenza algebrica tra consecutivi gole e picchi (positive range) o tra consecutivi picchi e gole (negative range). A volte la definizione cambia a seconda del metodo di conteggio utilizzato
- **Mean crossing:** indica il numero di volte che la storia dei carichi attraversa un livello di carico medio. Di solito si contano i soli attraversamenti con derivata positiva



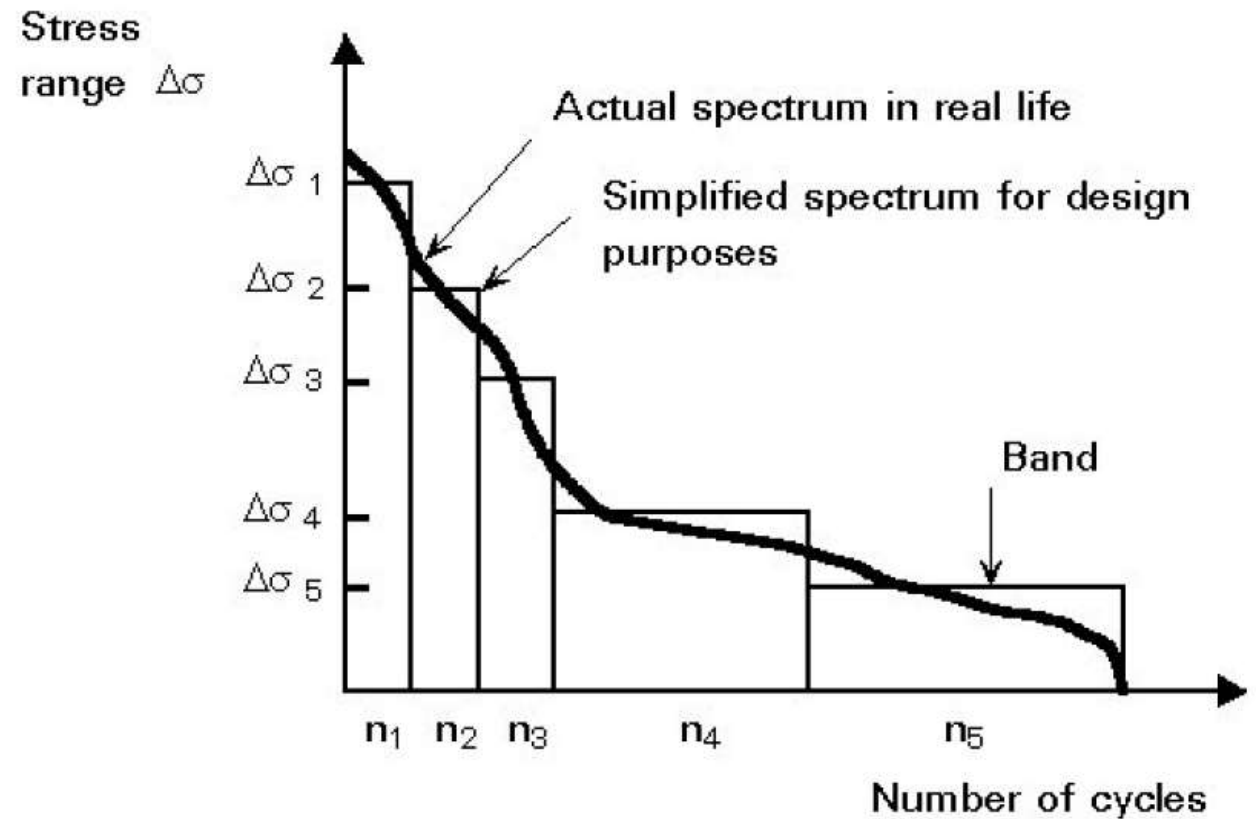
Istogramma delle ampiezze

- L'istogramma delle ampiezze di sollecitazione è anche detto «spettro»
- E' la rappresentazione delle ampiezze di sforzo selezionate e del numero di cicli associato.
- Nella pratica la storia dei carichi viene ridotta ad una serie di blocchi caratterizzati da $(\Delta\sigma_i, n_i)$
- Di solito per una storia di circa 10^8 cicli la suddivisione in 20 livelli di sollecitazione (binning) è più che sufficiente.
- Tutti i cicli di ampiezza che ricadono in un blocco sono associati al valore medio di sollecitazione di quel blocco



Istogramma delle ampiezze

- Il danno causato da un blocco dell'istogramma viene determinato con la legge di Miner ed un'appropriata curva di Whoeler

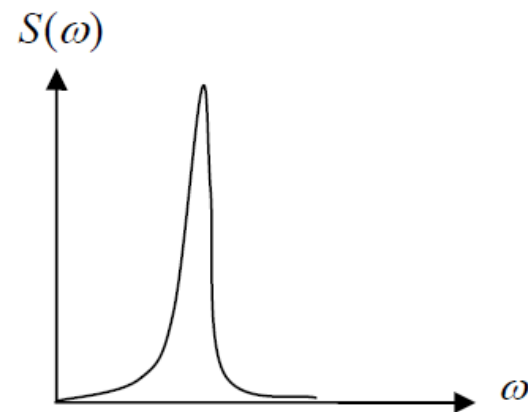


Processi stocastici

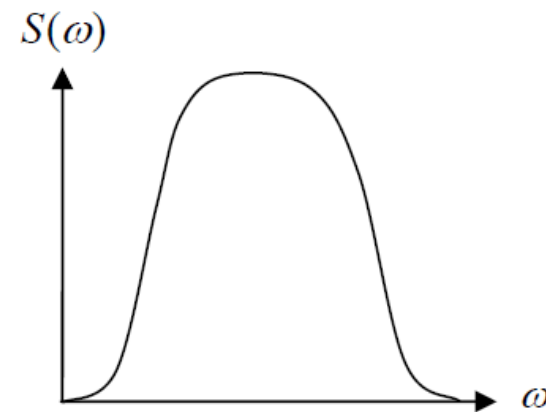
- Nella pratica progettuale, la storia dei carichi non solo è irregolare ma anche casuale (random)
- La storia della sollecitazione può pertanto considerarsi come un processo stocastico che può essere descritto dalla sue proprietà statistiche: valore medio e deviazione standard.
- Un processo è detto stazionario se le sue proprietà statistiche non variano nel tempo.
- Molti processi sono stazionari se il tempo considerato è sufficientemente breve
- Per un processo stazionario si definisce:
 - Funzione densità di probabilità: $p(x) dx = \text{prob}(x \leq x(t) \leq x+dx)$
 - Funzione distribuzione cumulativa $P(x)$: $P(x) = \text{prob}(x(t) \leq x) = \int p(x) dx$ (tra $-\infty$ e x)
 - Valore atteso: $E(x) = \int x p(x) dx$ (tra $-\infty$ e $+\infty$)
- Il valore atteso di un processo è uguale al valore medio. Di solito la rappresentazione dei dati è scelta in modo che il valore medio sia zero

Processi stocastici (cont)

- L'energia dello spettro di un processo $S(\omega)$ può essere direttamente ottenuto attraverso la FFT dei dati campionati.
- Quando si effettua una FFT si trasforma il segnale dato in $x(t)$ in una sua rappresentazione equivalente nel dominio della frequenza $X(\omega)$ da cui si può calcolare l'energia dello spettro.
- Processi a banda stretta e banda larga:



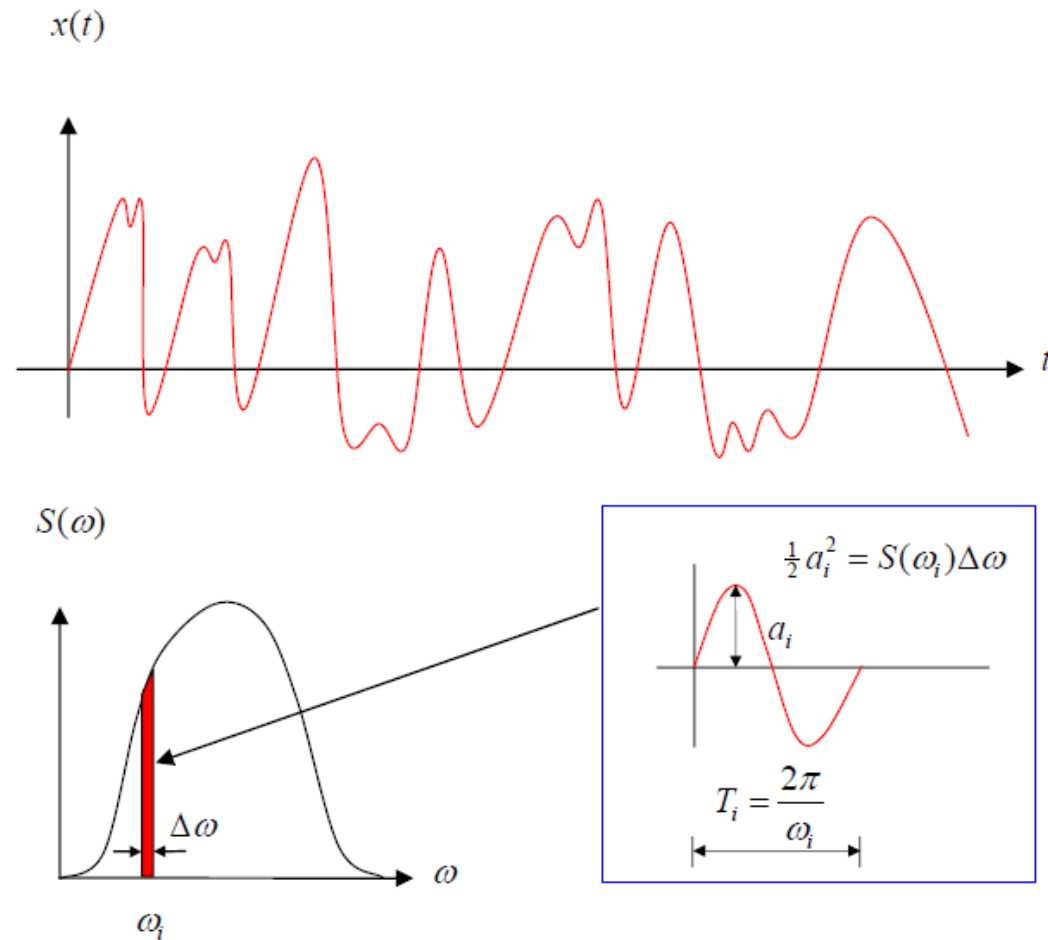
Narrow band process



Broad band proces

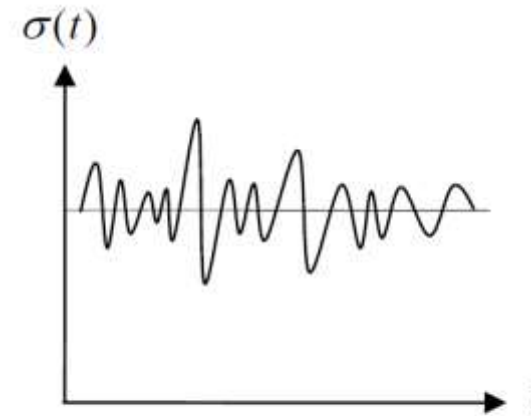
Processi stocastici (cont)

- Un processo stocastico stazionario può essere considerato composto da infinite componenti armoniche ognuna di differente frequenza

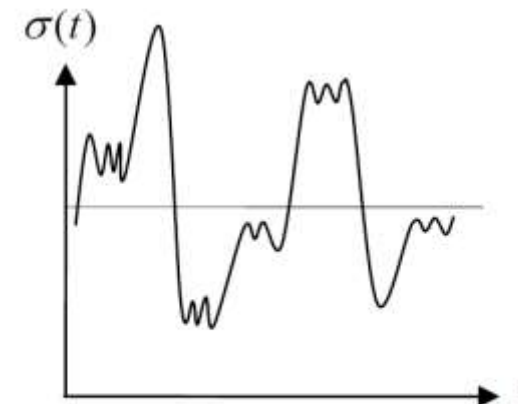


Conteggio Rain-Flow

- In una serie temporale a banda stretta, i singoli cicli possono essere facilmente individuati e contati ad esempio contando gli attraversamenti o le differenze tra picchi e valli
- In una serie a banda larga in cui i cicli a grande ampiezza sono intervallati da quelli a piccoli a tensione media variabile, le cose sono più complesse



a) Narrow band process



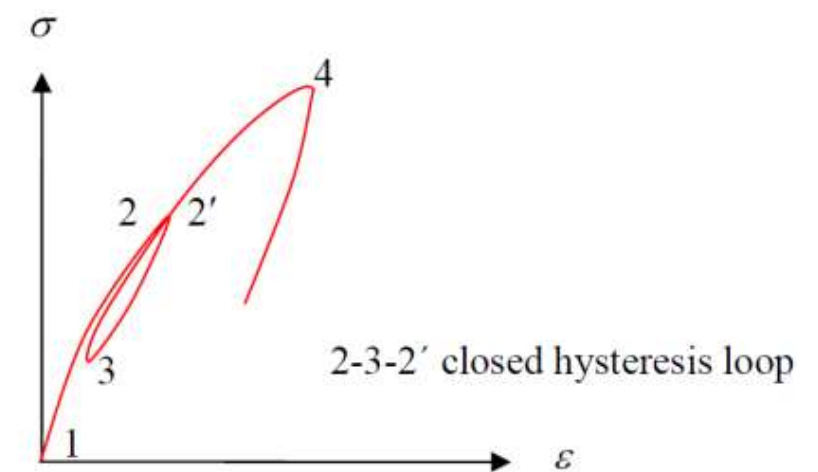
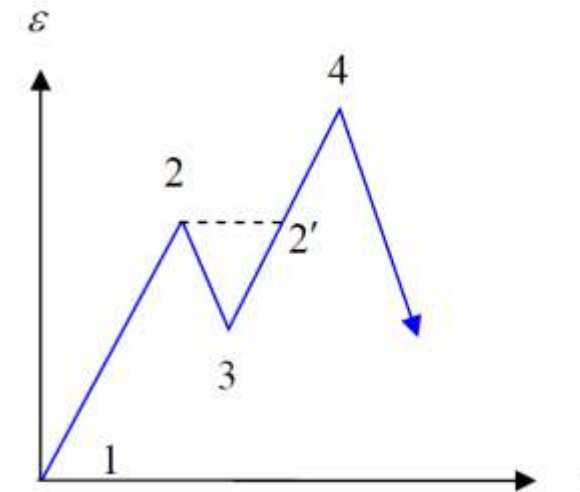
b) Broad band proces

Conteggio Rain-Flow

- Sono stati proposti diversi metodi per il conteggio dei cicli che, chiaramente, implicano una diversa stima del danno da fatica
- Per le storie di carico a banda stretta, la scelta del metodo per il conteggio è meno critica: tutti danno più o meno risultati in termini di danno cumulato simili tra loro
- Per la fatica HCF i metodi più utilizzati sono il *Reservoir Counting Method* (RCM) e il *Rain Flow Counting Method*

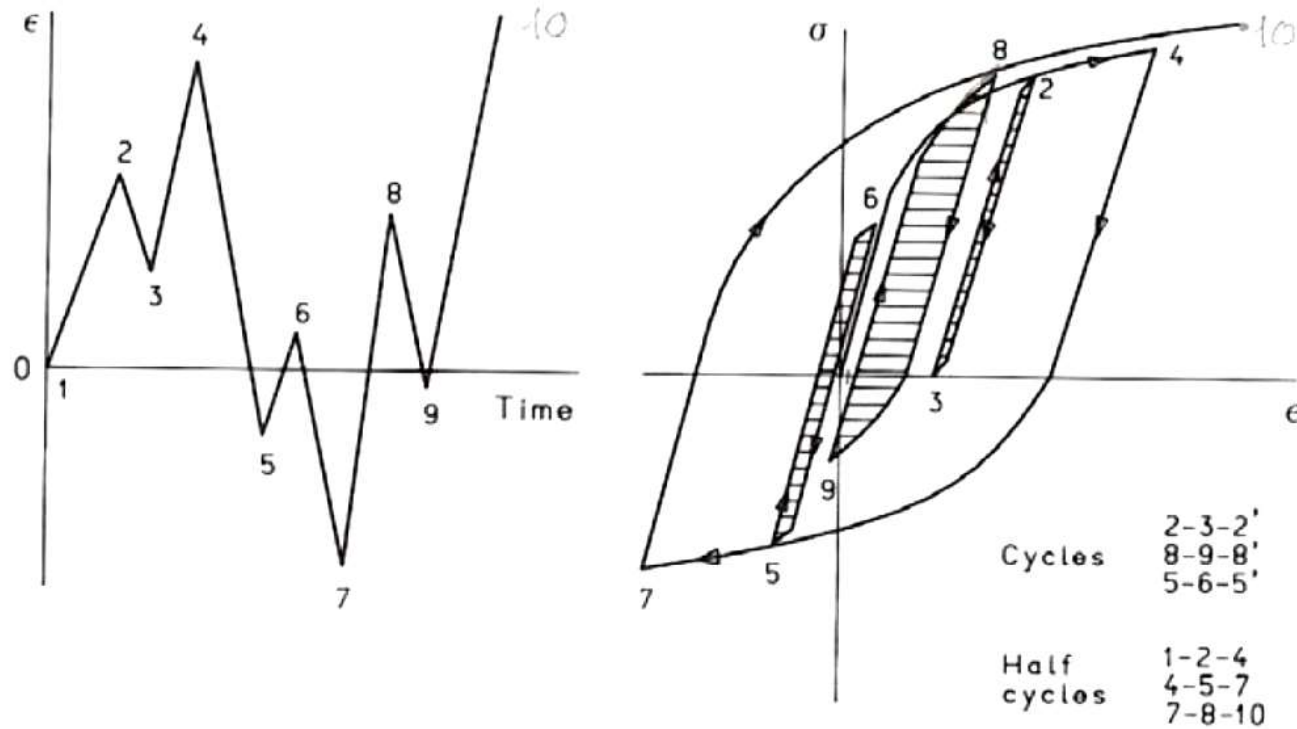
Conteggio Rain-Flow

- Rain-flow Counting Method:
- Il metodo è stato sviluppato in modo da contare le inversioni di sollecitazione in accordo con la risposta ciclica del materiale includendo il ciclo di isteresi
- Questo consente di considerare in maniera corretta situazioni di carico in cui si realizzino delle inversioni di carico locali in maniera significativa
- Il principio generale del Rain-Flow è quello di considerare i soli cicli di carico (strain) per i quali si realizza la chiusura di un loop nella risposta sforzo-deformazione
- Nell'esempio di figura: il conteggio dei cicli è $\frac{1}{2}$ ciclo di ampiezza 1-4 ed 1 ciclo completo di ampiezza 2-3



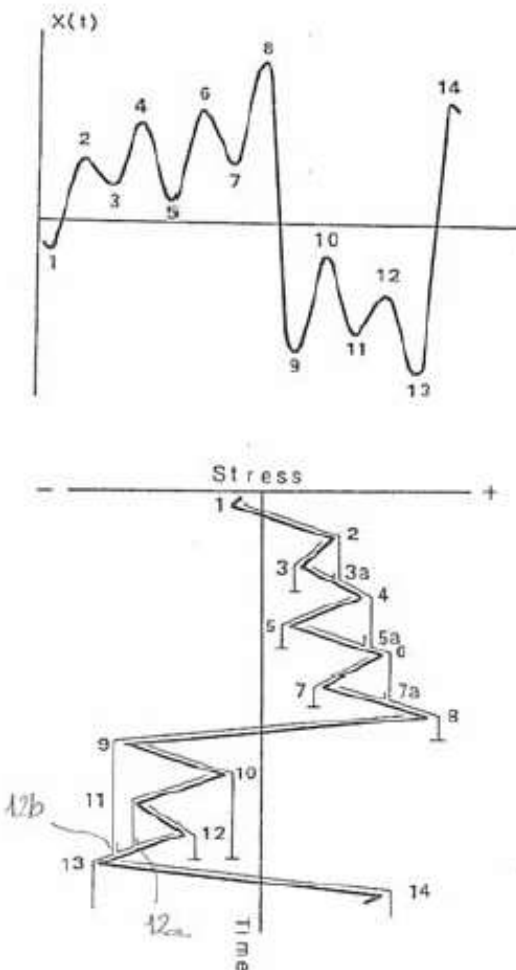
Conteggio Rain-Flow

- Esempio più complesso:



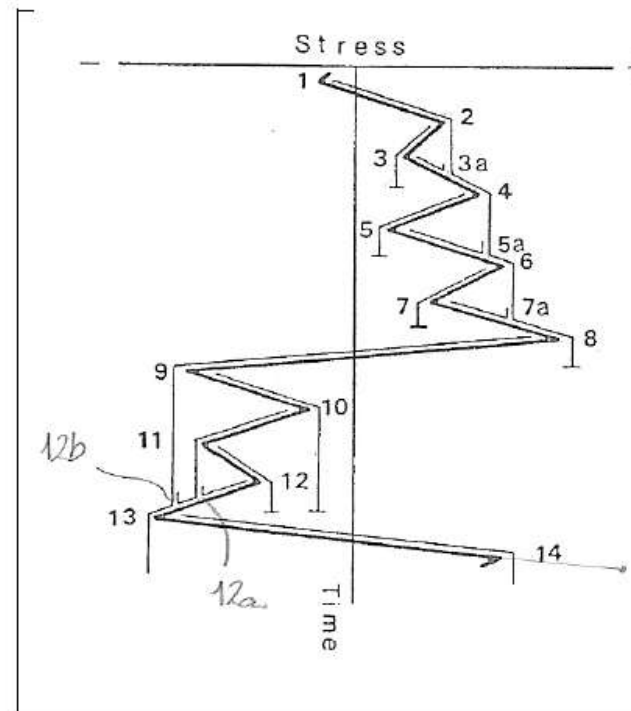
Conteggio Rain-Flow

- Il metodo fu introdotto nel 1969 e prende il nome dall'analogia con la pioggia che cade dal tetto di una pagoda
- Il processo per il conteggio può essere codificato in regole facilmente implementabili in codici di calcolo
- Il passo preliminare è quello di prendere lo spettro di carico e convertirlo in una serie di punti associati ai picchi ed alle valli
- L'unione dei picchi e valli va a costruire il «tetto»



Conteggio Rain-Flow

1. Il flusso di «pioggia» inizia da ogni picco ed ogni gola
2. Quando il flusso di pioggia, iniziato da una gola, arriva all'estremità del tetto, il flusso si interrompe se la gola opposta è più negativa di quella da cui è iniziato
3. Per un flusso iniziato ad un picco, esso si interrompe al picco positivo maggiore di quello da cui è partito il flusso
4. Se il flusso di pioggia proveniente da uno dei tetti intercetta il flusso di un percorso precedente, il flusso presente si interrompe.



Half cycles of trough generated stress ranges

1-8, 3-3a, 5-5a, 7-7a, 9-10, 11-12 and 13-14

Half cycles of peak generated stress ranges

2-3, 4-5, 6-7 10-12b, 12-12a and 8-(9)-13

Total count

Full cycles: 2-3-3a, 4-5-5a, 6-7-7a, 9-10-12b(9) and 11-12-12a(11)

Half cycles: 1-8, 8-13 and 13-14

Conteggio Rain-Flow

- Si può dimostrare che per storie sufficientemente lunghe, ogni $\frac{1}{2}$ ciclo originato da una gola è seguito da un altro $\frac{1}{2}$ ciclo della medesima ampiezza originato da un picco.
- Nonostante il successo del metodo anche questo soffre del fatto che nel calcolo del danno si perdono le informazioni relative alla sequenza dei cicli (overstressing o understressing)
- Tuttavia al momento non esistono metodi migliori (sic!)