

# Indice

<b>1</b>	<b>Descrizione delle funzionalità</b>	<b>2</b>
1.1	Il database . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Descrizione dei modelli</b>	<b>6</b>
2.1	Metodi di conteggio . . . . .	6
2.1.1	Simple Range . . . . .	8
2.1.2	Peak & Valley . . . . .	8
2.1.3	Rainflow . . . . .	8
2.2	Modello <i>Quaresimin-Ricotta-Susmel</i> . . . . .	9
2.3	Rapporto di fatica al variare di R . . . . .	10
2.3.1	Metodo di interpolazione . . . . .	10
2.3.2	Haigh generalizzato . . . . .	11
2.4	Wohler e Miner modificati . . . . .	12
2.4.1	Curve al 90% . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Tutorial</b>	<b>15</b>
3.1	Apertura del programma . . . . .	15
3.2	Suddivisione dell'interfaccia . . . . .	16
3.2.1	Load Data . . . . .	16
3.2.2	Material Data . . . . .	18
3.2.3	Analysis . . . . .	19
3.3	Avvertenze . . . . .	21

# Capitolo 1

## Descrizione delle funzionalità

Il software COMPFAT è uno strumento utile alla progettazione di componenti in materiale composito sottoposti a carico monoassiale. Esso, basandosi su alcuni modelli presenti in letteratura, è in grado di fornire il danneggiamento di un pezzo una volta forniti in input le proprietà statiche del materiale e la storia di carico. I risultati si basano ovviamente su previsioni statistiche e come tali devono essere trattati.

Il flow-chart presente in figura 1.1 mostra il flusso dei dati all'interno del software. I riquadri rossi indicano le 'stazioni' di calcolo del software, in verde invece è presente la base dati in cui sono stipati i gruppi del modello *Quaresimin-Ricotta-Susmel* su cui si basa COMPFAT. I riquadri azzurri invece indicano i risultati intermedi e parziali e cioè i dati che passano da una 'stazione' di calcolo all'altra. Come da uso comune i rombi contengono le 'stazioni' di scelta.

Come detto in precedenza l'input da fornire comprende lo spettro di carico agente sul punto più svantaggiato del componente. Il programma non richiede una particolare unità di misura, purché esse siano concordi tra spettro e caratteristiche statiche del materiale selezionato. Tuttavia si consiglia di lavorare con le tensioni e in particolare coi  $MPa$  con la quale sono stati inseriti i primi materiali nel database. Parallelamente il software necessita dell'indicazione del materiale utilizzato di architettura e geometria.

Prima di entrare nel modello *Quaresimin-Ricotta-Susmel* serve ancora un passaggio preliminare che consenta di ottenere lo spettro cumulativo di carico, a questo punto si può passare a determinare per ogni blocco il rapporto di fatica, da qui si ottiene una curva di Wohler modificata e attraverso il modello di Palmgren-Miner si arriva a conoscere il danno.

Nel capitolo successivo saranno analizzati nel dettaglio i vari passaggi.

## 1.1 Il database

Il database è scritto in linguaggio SQL(lite) e quindi modificabile con un qualsiasi software in grado di leggere i file \*.db con questo linguaggio. COMPFAT presenta comunque alcuni tools per la gestione dei dati. Al suo interno sono stipati i 29 gruppi originali presenti nell'articolo di Quaresimin et al.[1].

Una seconda tabella comprende invece alcune tipologie di materiale per le quali è indicato un nome (a piacere), un materiale per la fibra e una tipologia di resina (TP=ThermoPlastic, TS=ThermoSetting), quindi i valori di resistenza statica a trazione e compressione. Si noti che i valori di resistenza statica, e di conseguenza il materiale, sono relativi ad un particolare angolo di off-axis.

In figura 1.2 sono indicati tutti i gruppi presenti nell'articolo, come si vede in alcuni casi sono indicati degli intervalli per  $R$ , questi sono stati inseriti nel database considerandone gli estremi. Qualora due gruppi avessero estremi in comune quello che esclude dall'insieme il punto vedrà l'estremo modificato di un decimo per non creare conflitti con nel software. Ad esempio i gruppi 19 e 20 presentano tutti l'estremo -1, ma nel 19 esso è escluso dall'insieme. Esso sarà inserito nel database con i valori di  $R=-0.5$  e  $-0.9$ , sarà poi il metodo di interpolazione (paragrafo 2.3.1) a sistemare i punti interni. Quando abbiamo il valore inf

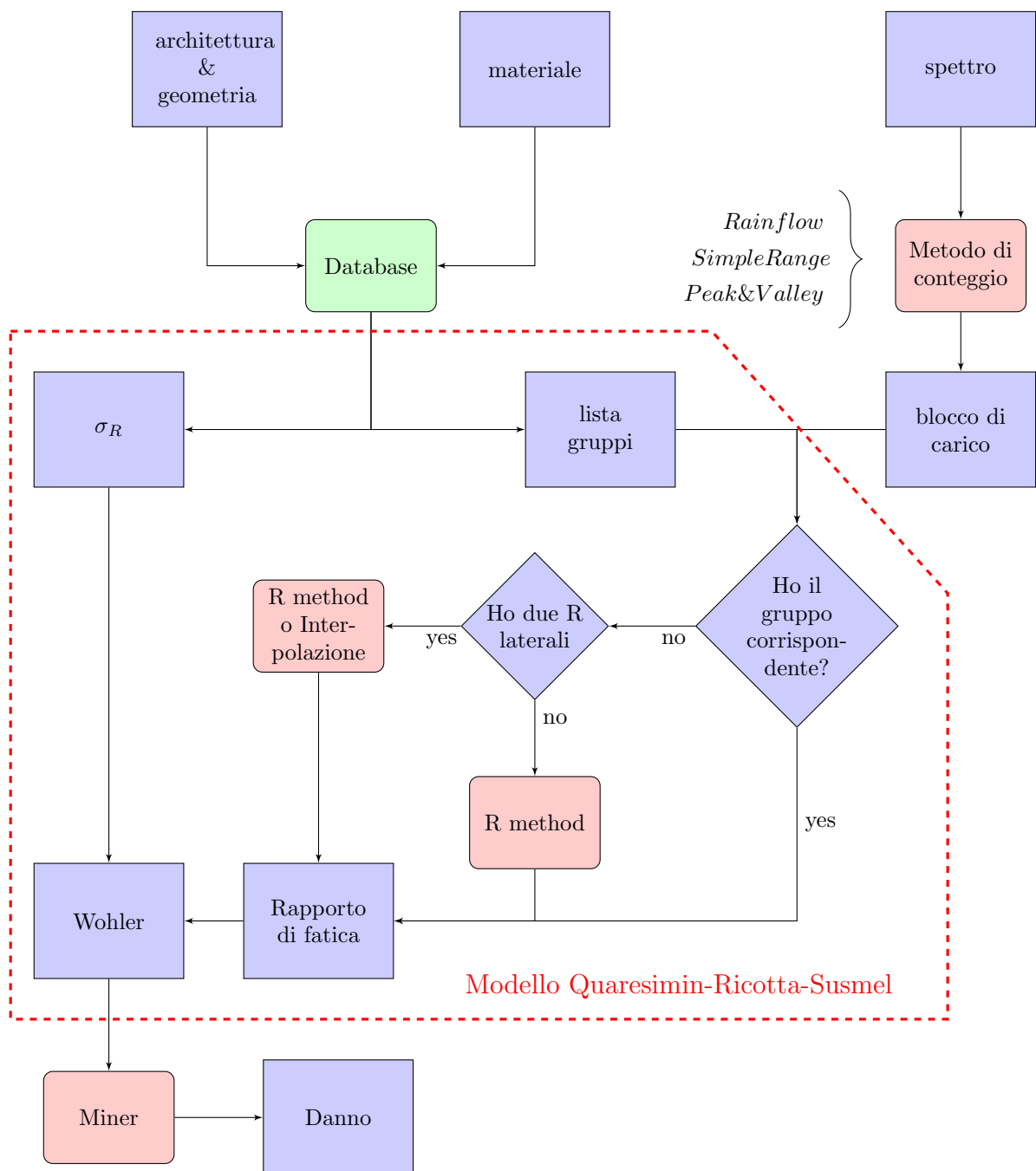


Figura 1.1: Flow chart del software

Group	R	Fibre	Matrix	Behav.	Fibre archit.	$\varphi_{,50\%}$	$\varphi_{,90\%}$	T $\sigma$	N° data	N° series
1	0	Carbon	TP	FD	UD	0.611	0.563	1.177	47	9
2	0	Carbon	TP	MD	UD	0.394	0.324	1.480	106	13
3	0	Glass	TS	FD	UD	0.365	0.287	1.620	29	3
4	0	Glass	TS	MD	UD	0.267	0.199	1.927	86	13
5	0	Glass	TS	MD	W	0.311	0.228	1.870	186	16
6	0	carbon	TS	FD	W	0.680	0.584	1.356	73	11
7	0	carbon	TP	FD	W	0.811	0.781	1.067	7	1
8	0	glass	TP	FD	W	0.507	0.446	1.296	23	2
9	0.1	carbon	TS	FD	UD	0.679	0.570	1.417	217	11
10	0.1	carbon	TS	MD	UD	0.418	0.292	2.037	97	10
11	0	glass	TS	FD	W	0.266	0.198	1.808	108	5
12	0.5	carbon	TS	FD	UD	0.698	0.553	1.593	32	3
13	0.5	carbon	TS	MD	UD	0.714	0.580	1.516	13	1
14	>1	carbon	TP	FD	UD	0.557	0.533	1.235	6	1
15	>1	carbon	TP	MD	UD	0.404	0.319	1.603	16	3
16	>1	glass	TS	FD	UD	0.510	0.406	1.572	28	2
17	>1	glass	TS	MD	UD	0.394	0.300	1.720	44	3
18	-0.5<R<0	carbon	TS	FD	UD	0.489	0.375	1.705	57	3
19	-1<R<-0.5	carbon	TS	FD	UD	0.379	0.329	1.324	21	2
20	-1	carbon	TS	FD	UD	0.372	0.284	1.704	50	4
21	-1	glass	TS	FD	UD	0.316	0.270	1.374	27	2
22	-1	glass	TS	MD	UD	0.300	0.242	1.540	29	2
23	-1	carbon	TS	FD	W	0.455	0.358	1.547	29	2
24	-1	carbon	TS	MD	W	0.246	0.211	1.359	14	1
25	-1	glass	TS	FD	W	0.237	0.218	1.185	13	2
26	-1	glass	TS	MD	W	0.187	0.157	1.424	14	1
27	<-1	carbon	TS	FD	UD	0.242	0.182	1.783	35	3
28	-∞	carbon	TP	FD	UD	0.530	0.487	1.185	16	2
29	-∞	carbon	TP	MD	UD	0.316	0.225	1.973	48	7

Figura 1.2: Lista dei gruppi presenti in [1]

# Capitolo 2

## Descrizione dei modelli

### 2.1 Metodi di conteggio

Per passare da uno spettro di carico alla storia a blocchi c'è la possibilità di utilizzare tre differenti metodi di conteggio, in ordine dal più semplice:

- Simple Range [2]
- Peak & Valley [3]
- Rainflow [2]

Prima di utilizzare i metodi di conteggio il software 'pulisce' lo spettro salvando solo i valori relativi agli estremanti. Tutti i metodi implementati forniscono in output l'elenco dei singoli range di carico con la loro sigma media, una successiva funzione permette di raggruppare in blocchi i singoli cicli omologhi (stessa ampiezza e stessa media) fornendo a questo punto un terzo parametro che è la durata del blocco. É inoltre implementata la possibilità di raggruppare ulteriormente i cicli che abbiamo un determinato delta rispetto ad ampiezza e media. Ma questo verrà spiegato meglio in seguito al paragrafo ???. Va ricordato che uno dei problemi dell'istogramma cumulativo è che non mantiene memoria della sequenza di carico, in genere si ordina in modo da considerare i carichi più gravosi per primi, si tratta di una consuetudine utilizzata nei metalli per restare in vantaggio di sicurezza, nei compositi, se si considera la curva con pendenza sempre costante non è determinante l'ordine che, si ripete, non mantiene in nessun caso memoria della sequenza dello spettro.

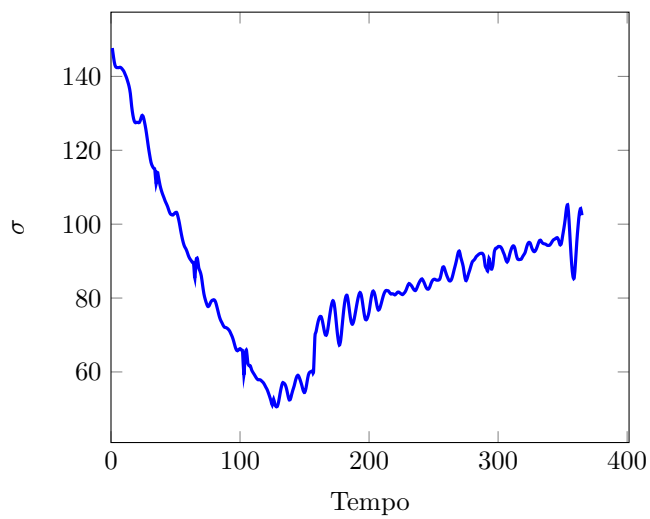


Figura 2.1: Spettro di carico

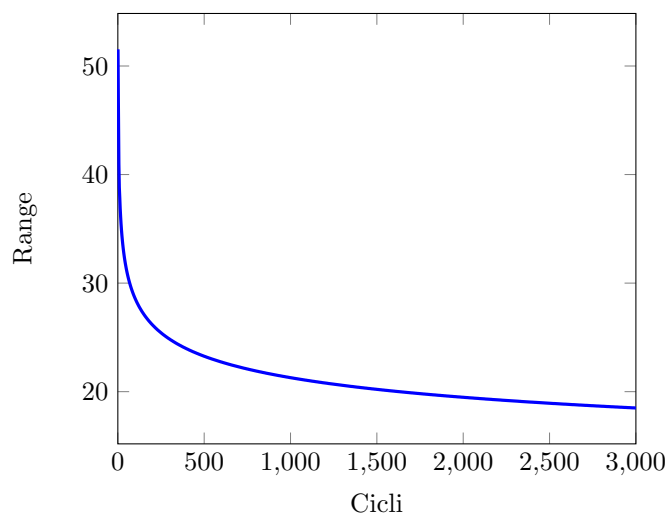


Figura 2.2: Istrogramma cumulativo di una prova di carico

### 2.1.1 Simple Range

Si tratta della soluzione più semplice: partendo dal primo punto assume come alternanza (mezzo ciclo) il percorso tra due successivi estremanti. La media viene di conseguenza assunta come il valore medio tra i due estremi di ogni alternanza.

### 2.1.2 Peak & Valley

Questo metodo è molto semplice come il precedente, ma il conteggio avviene con un maggior vantaggio di sicurezza:

1. Calcolo la media dello spettro di estremanti
2. Suddivisione dei massimi e minimi locali
3. Eliminazione dei massimi sotto al valore medio e i minimi al di sopra di esso
4. Calcolo del primo ciclo come differenza tra il massimo maggiore e il minimo minore ed eliminazione dei due punti
5. Ripetizione del punto 4 fino al termine dei valori

Il valore medio di ogni ciclo è dato ovviamente dalla media del valore massimo e minimo di  $\sigma$  del ciclo.

### 2.1.3 Rainflow

Si tratta del metodo maggiormente utilizzato in letteratura, fornisce lo stesso output del metodo dei serbatoi, a favorirne lo sviluppo la possibilità di renderlo un algoritmo implementabile. L'algoritmo procede come segue:

1. Legge il valore dei punti successivi fino ad averne almeno tre, se lo spettro è composto da meno di tre valori passo all'ultimo punto
2. Una volta ottenuti almeno tre valori si indica con  $Y=|S-A|$  la prima alternanza, con  $X=|A-B|$  la seconda (figura 2.3a)
3. Se  $Y$  è maggiore si riparte dal primo punto leggendo un altro punto, altrimenti si passa oltre



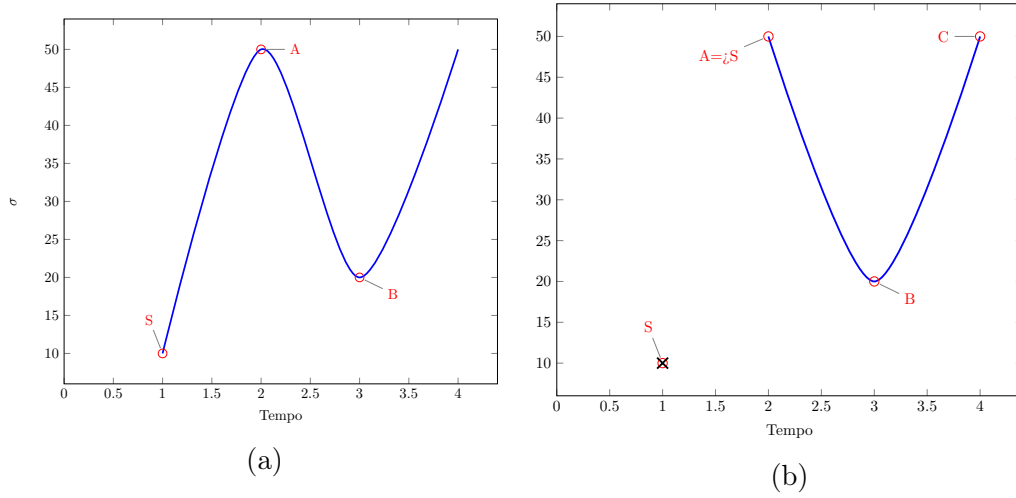


Figura 2.3: Rainflow

4. Se  $Y$  contiene il punto iniziale dello spettro si considera mezzo ciclo con range  $Y$  e si elimina il primo punto  $S$  (si indicherà con  $S$  il primo punto rimanente: figura 2.3b)
5. Se  $Y$  non contiene  $S$  allora si considera un ciclo intero con range  $Y$  e si riparte da 1
6. I range non considerati vanno conteggiati come mezzo ciclo. La  $\sigma_m$  viene conteggiata, ovviamente, come il valore medio tra picco e valle, il rapporto di ciclo e ogni altro parametro sono di conseguenza univocamente determinati.

## 2.2 Modello *Quaresimin-Ricotta-Susmel*

Come abbiamo già avuto modo di dire alla base del software c'è il modello *Quaresimin-Ricotta-Susmel* [1]: in esso, raccogliendo molti dati di letteratura e suddividendoli in gruppi secondo alcuni parametri del materiale e del tipo di carico si è dimostrata l'esistenza di un rapporto di fatica costante per ogni gruppo. Il rapporto di fatica è definito come segue:

$$\varphi_{50\%, 2 \cdot 10^6} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_R} \quad (2.1)$$

Con  $\sigma_R$  è indicata la resistenza statica, a seconda che  $\sigma_m$  sia positiva o negativa utilizzeremo il limite in compressione piuttosto che in trazione. Il grande vantaggio del modello è che una volta definita la fisica del problema e di conseguenza i parametri che definiscono il gruppo, e note le proprietà statiche del materiale possiamo costruire una curva di Wohler modificata. I parametri necessari sono:

- Materiale della fibra
- Tipologia di resina (TP o TS)
- Architettura (Unidirezionale o tessuto)
- Comportamento (Fibre dominated o Matrix dominated)

Chiariamo che quando abbiamo a che fare con comportamento matrix dominated il rapporto di fatica è costante che si parli di  $10^\circ$  o  $90^\circ$ , ma non il valore di  $\sigma_{max}$ , infatti la resistenza statica del materiale è intesa come la  $\sigma_R$  di una prova di trazione eseguita con lo stesso angolo di off-axis.

## 2.3 Rapporto di fatica al variare di R

Come si vede in fig.:1.2 i gruppi riassumono solo dei valori discreti di R ed è quindi necessario andarsi a ricavare tutti i valori di  $\varphi$  che mancano. Per farlo abbiamo inserito due diversi metodi, a seconda che il valore di R cercato si trovi al centro di due gruppi indicati nel database oppure no. Ovviamente nel caso di R corrispondente si assume il valore indicato.

### 2.3.1 Metodo di interpolazione

Se non è presente un gruppo per il valore di R del nostro blocco di carico per ricavare il valore di  $\sigma_{max}$  applicabile al laminato si può procedere interpolando i punti forniti dai due gruppi con gli R limitrofi. Come si può vedere in figura 2.4 si ricavano i coefficienti  $m, q$  della retta passante per i punti  $(\sigma_{mg1}, \sigma_{ag1})$  e  $(\sigma_{mg2}, \sigma_{ag2})$  forniti dai rispettivi gruppi. Si vuole cercare poi l'intersezione con la curva relativa al nostro valore di R la quale avrà pendenza:

$$\frac{1 - R}{1 + R} \quad (2.2)$$

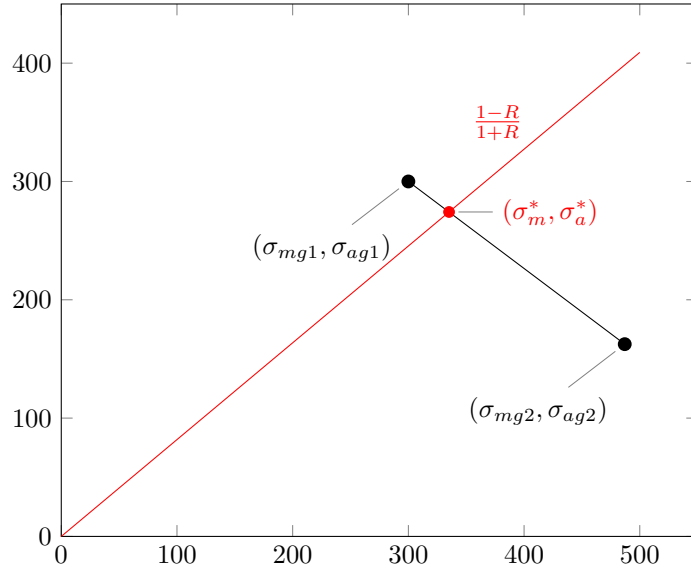


Figura 2.4: Metodo interpolativo

otterremo quindi:

$$\begin{aligned}\sigma_m^* &= \frac{q}{\frac{1-R}{1+R} - m} \\ \sigma_a^* &= \frac{1-R}{1+R} \cdot \sigma_m^*\end{aligned}\tag{2.3}$$

A questo punto è nota la tensione massima applicabile sul laminato con cui possiamo costruire il diagramma di Wohler modificato.

$$\sigma_{max} = \sigma_{max}^* = \sigma_m^* + \sigma_a^*\tag{2.4}$$

### 2.3.2 Haigh generalizzato

Quando nel database è presente un solo gruppo oppure la nostra retta  $R$  ricade fuori dall'intervallo coperto dal gruppo, non siamo in grado di procedere con l'interpolazione per trovare il valore di  $\sigma_{max}$  applicabile al laminato, siamo quindi costretti a costruire la curva di Haigh modificata utilizzando come secondo punto  $(\sigma_R, 0)$ , a questo punto il processo è analogo a quanto

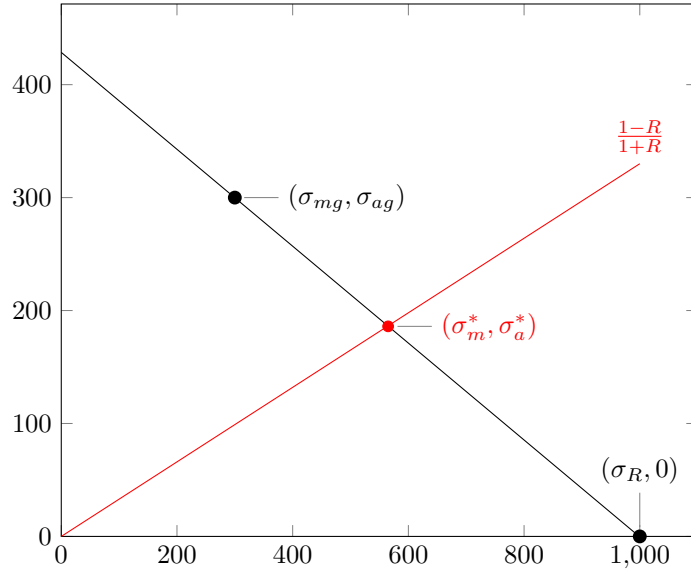


Figura 2.5: Haigh generalizzato

avviene per il metodo interpolativo, una volta trovati i parametri della retta passando per i due punti si può procedere ad individuare  $\sigma_{max}$ :

$$\sigma_a^* = \frac{q \cdot \sigma_R}{\sigma_R + q \cdot \frac{1+R}{1-R}} \quad (2.5)$$

sapendo che  $q = \sigma_{a,R=-1}$  questa formula ci permette di saltare un passaggio qualora avessimo il gruppo per  $R = -1$ . Ricavato il valore di  $\sigma_m^*$  si procede applicando 2.4.

## 2.4 Wohler e Miner modificati

A questo punto si può procedere in modo analogo a quanto si fa per la fatica dei metalli. Costruendo una curva bi-logaritmica di Wohler, in figura 2.6 si può vedere che a differenza di quelle per i metalli la pendenza è costante da 0 cicli fino all'intersezione con l'asse delle ascisse. Sempre nella stessa figura è schematizzato il modello di Palmgren-Miner secondo i quali il danno, per fatica ad ampiezza costante ( $\sigma_a = 215MPa$  nel caso specifico), si calcola come il rapporto tra i cicli realmente effettuati e i cicli che porterebbero a

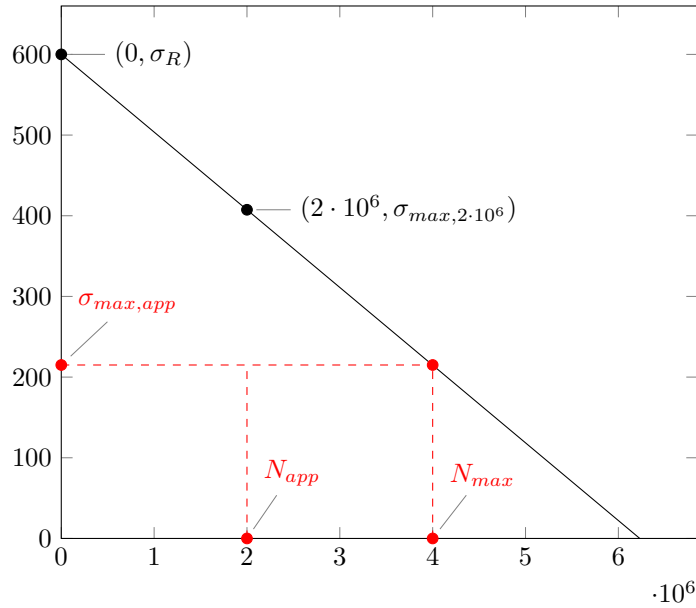


Figura 2.6: Curva di Wohler per laminato UD in fibra di carbonio sottoposto a trazione on-axis e  $R = 0.1$

rottura il componente sottoposto a fatica alla data ampiezza, il danno totale è la somma dei danni singoli:

$$D_{tot} = \sum_{i=1}^n \frac{N_{i,app}}{N_{i,max}} \quad (2.6)$$

### Avvertenza

Poichè le curve di Wohler hanno pendenze molto ridotte soprattutto per i laminati FD si è visto che variazioni di  $\sigma_{max,2E6}$  nell'ordine del punto percentuale possono portare a modifiche nel danno del 20%. Per questo, nell'output fornito nel prompt verrà indicata anche la pendenza della curva di Miner, funzionalità attivabile prima di eseguire l'analisi, come si vedrà nel tutorial seguente.

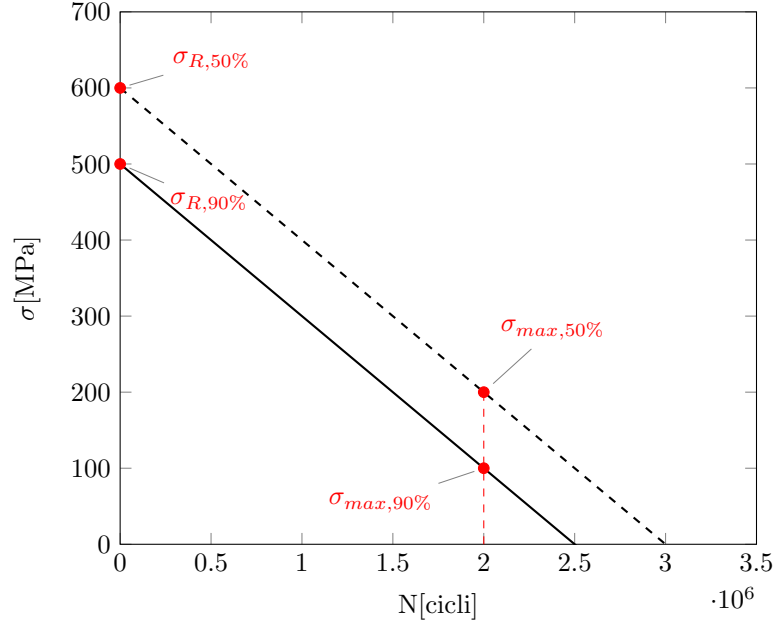


Figura 2.7: Curva di Wohler per valori statistici al 90%

### 2.4.1 Curve al 90%

Quando viene richiesta l'analisi con i valori di  $\sigma$  al 90% dobbiamo spostare la curva verso il basso di 2 deviazioni standard. Dai gruppi possiamo ricavare però solo il valore della  $\sigma_{max,2E6}$  attraverso il rapporto di fatica che ha come denominatore sempre la  $\sigma_{R,50\%}$ . Essendo le due curve parallele, in grafici doppio logaritmici, possiamo sfruttare questa proprietà nel modo seguente:

$$\log_{10}(\sigma_{R,50\%}) - \log_{10}(\sigma_{R,90\%}) = \log_{10}(\sigma_{max,50\%}) - \log_{10}(\sigma_{max,90\%}) \quad (2.7)$$

Quando ho il gruppo specifico per il blocco di carico mi è sufficiente ricavare i due  $\sigma_{max}$  e quindi applicare 2.7, quando procedo con l'R method la soluzione è abbastanza simile, solo che una volta ottenuto  $\sigma_{R,90\%}$  applico appunto l'R method per ricavare  $\sigma_{max,90\%}$ , con questi due parametri posso poi costruire Wohler.

Più complesso il procedimento quando uso il metodo interpolativo in quanto devo ricavare, con tale algoritmo, sia  $\sigma_{max,50\%}$  che  $\sigma_{max,90\%}$  a questo punto conosco la distanza tra le due rette e posso applicare 2.7.

# Capitolo 3

## Tutorial

### 3.1 Apertura del programma

L'apertura del software può avvenire in diverse modalità:

- doppio clic sul file .exe come un qualsiasi programma
- eseguendo il file .exe dal prompt dei comandi
- eseguendo lo script python

attualmente il software è "compilato" in modo che sia visibile all'apertura la riga di comando quindi tra il primo e il secondo metodo attualmente non dovrebbero esserci differenze, il consiglio è comunque quello di eseguire il file utilizzando il prompt di windows. Una volta aperto il prompt è sufficiente spostarsi fino alla cartella in cui è presente il file exe utilizzando il comando `cd <percorso da seguire>` il percorso può essere copiato dalla barra di indirizzo di explorer una volta entrati nella cartella in cui è presente il file da eseguire. Per incollare utilizzare il mouse (tasto destro-incolla) e non la "scorciatoia" Ctrl+V. L'apertura da prompt consente di visualizzare su di esso eventuali messaggi di errore anche dopo la chiusura del software quindi in caso di crash si può conoscere il problema (come dicevamo ciò dovrebbe avvenire anche nel primo caso, ma non è sicuro per tutti i tipi di errore, per il periodo di sviluppo consigliamo di usare il secondo). ,

## 3.2 Suddivisione dell'interfaccia

L'interfaccia grafica è composta da due zone principali (fig.:3.1): la **pagina attiva** e il **Log monitor**. Nella prima parte si possono fornire gli input mentre il log monitor fornisce output o eventuali avvertimenti ed errori. Per scorrere tra le varie pagine attive si utilizzano i tre pulsanti evidenziati nello schema. Le immagini indicate possono differire nello stile dell'interfaccia a seconda del sistema operativo utilizzato e della sua versione, in ogni caso tutto ciò che è indicato è presente. Le pagine sono tre:

- **Load data:** dove si gestisce tutto ciò che ha a che fare coi carichi
- **Material data:** dove si gestisce il materiale
- **Analysis:** dove si procede a scegliere lo spettro e il materiale da usare e avviare l'analisi

### 3.2.1 Load Data

La prima pagina è suddivisa in tre sezioni:

- **File setting:** dove seleziono il file e gli estremi per leggere i dati
- **Counting Method:** dove seleziono il metodo di conteggio e gli eventuali parametri per raggruppare i blocchi
- **View data:** dove ho gli strumenti per processare i dati

Nel primo settore, scorrendo i campi dall'alto in basso, posso scegliere il tipo di file (al momento solo excel), la posizione del file (si apre una finestra di navigazione). A questo punto devo scegliere il nome della pagina del file excel quindi il numero della colonna in cui trovo i dati (la prima colonna a sinistra è la numero 1, su excel A=1), quindi viene richiesto il numero di righe di intestazione che non verranno lette, si può usare questo campo anche per dire di trascurare alcuni valori a inizio spettro. Infine viene indicato il numero massimo di dati da leggere. La lettura del file avviene nel seguente modo: selezione di file, pagina e colonna. Lettura dell'intera colonna per il numero di valori indicato, quindi vengono eliminati eventuali valori ricavati da celle vuote. Va posta attenzione che il file non presenti due differenti tipologie di dato all'interno del range indicato perchè verranno considerati omologhi e



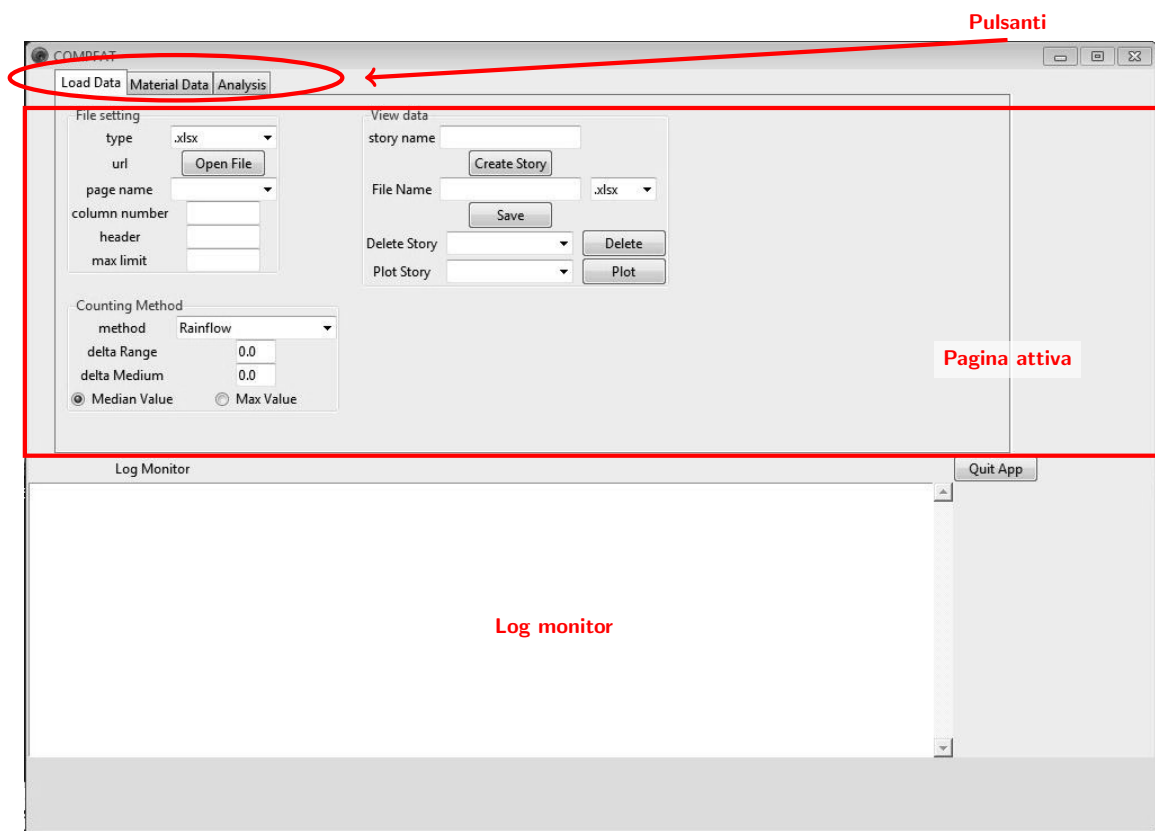


Figura 3.1: Schema generale dell'interfaccia

aggiunti in coda allo spettro. Qualora non venga specificato un valore limite (o esso sia 0) verrà letta l'intera colonna con le stesse problematiche appena indicate.

Il file excel in ingresso sarebbe bene presentasse una colonna dedicata alla lettura, senza interruzioni ed eventualmente sapendo il numero di colonne da leggere.

Il settore numero 2 permette di scegliere tra i diversi metodi di conteggio. Quindi richiede il  $\Delta\sigma$  con cui effettuare il raggruppamento e vanno indicati con la stessa unità di misura dei dati presenti nel file letto. Indicano l'intera dimensione del gruppo: ad esempio un  $\Delta\sigma = 5udm$  raggrupperà assieme tutti i dati compresi tra  $0udm$  e  $5udm$  escluso, tra 5 e 10, si può poi decidere di assumere come  $\sigma$  del gruppo il valore centrale o l'estremo maggiore.

Infine la terza sezione richiede di inserire il nome alla storia di carico (nome che servirà poi per poterla recuperare nelle successive fasi) e di creare la storia. Volendo si può salvare (attualmente solo in file excel) la storia suddivisa in blocchi e salvarla su un file indicato nell'apposita sezione. Il file verrà posizionato nella cartella data all'interno della directory in cui è presente l'eseguibile. Gli ultimi due menu a tendina permettono di selezionare una storia di carico già creata (non necessariamente salvata su file) e cancellarla o visualizzarla graficamente (opzione al momento sospesa).

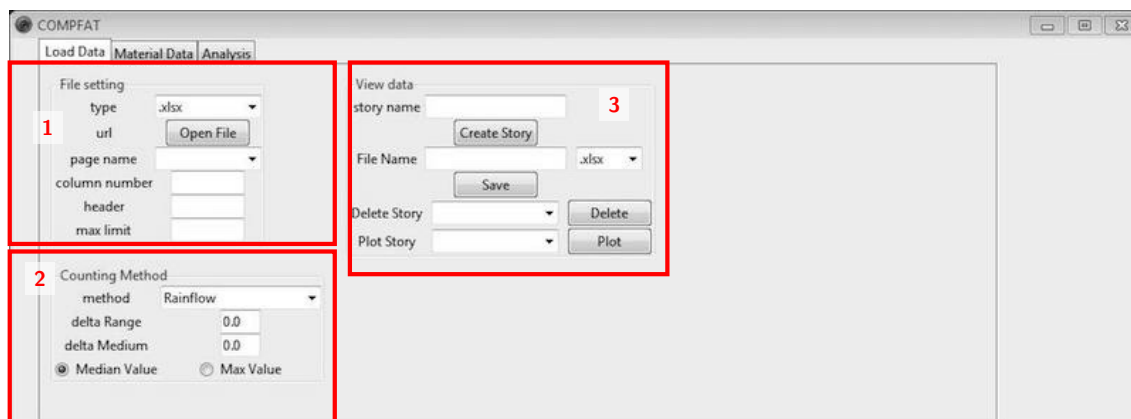


Figura 3.2: Pagina Load Data

### 3.2.2 Material Data

Più semplice è invece la pagina per la gestione dei materiali: il menu a tendina sulla sinistra permette di selezionare il tipo di fibra, a quel punto, dopo aver cliccato su *Search* verranno visualizzati nella tabella tutti i materiali con la fibra selezionata. Altrimenti è possibile indicare un materiale temporaneo utilizzando il tasto *New Material* che aprirà una finestra di dialogo in cui inserirne le proprietà<sup>3.4</sup>. Una volta scelto il materiale va selezionato col cursore all'interno della tabella e salvato con il pulsante in basso, sarà quindi disponibile per le fasi seguenti, se ne possono salvare più di uno.

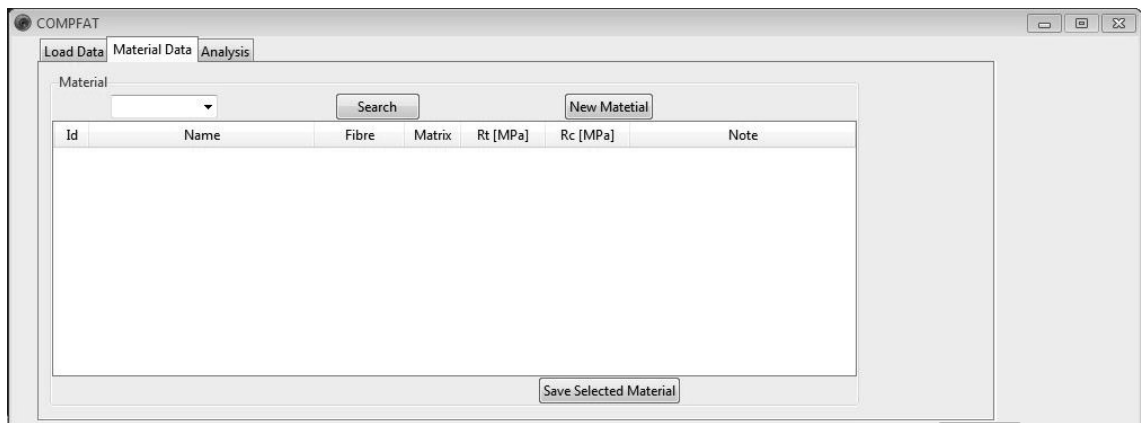


Figura 3.3: Pagina Material Data

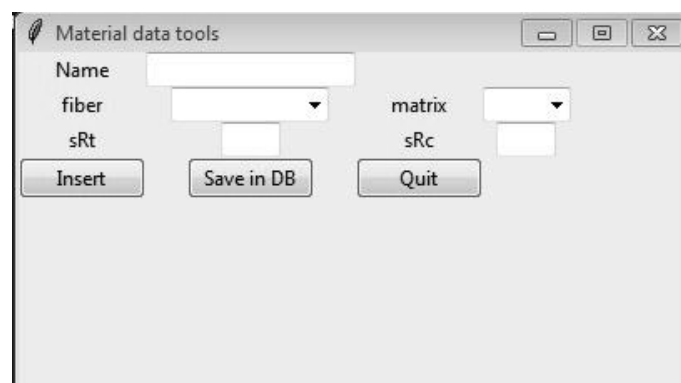


Figura 3.4: Pagina Material Data

### 3.2.3 Analysis

L'ultima fase è quella di analisi, la terza pagina presenta una serie di opzioni da scegliere sulla prima riga: il materiale tra la lista di quelli salvati, il comportamento (FD/MD), l'architettura (UD/W) e la percentuale statistica con cui eseguire l'analisi (50/90%). Cliccando su *Extract Group* verranno estratti dal database e visualizzati i gruppi corrispondenti alle caratteristiche scelte, **ogni volta che si vuole modificare una delle scelte precedenti va ripetuta l'operazione altrimenti l'analisi verrà effettuata coi gruppi precedenti!.** Il pulsante *Show Group* apre due diverse finestre:

- un grafico in cui vengono plottati su un piano  $\sigma_a - \sigma_m$  i gruppi, al di sopra del punto c'è l'indicazione dell'R relativo, mentre la retta indica il confine ideale di rottura supponendo  $\sigma_m + \sigma_a = \sigma_R$  3.6; Attenzione: il grafico riporta i valori per un materiale supposto con  $\sigma_{Rt} = \sigma_{Rc}$
- un seconda finestra in cui è presente una tabella indicante i gruppi 3.7, da questa è possibile escluderne alcuni dall'analisi, prima di poter lavorare su questa va chiuso il grafico.

In basso si seleziona invece la storia a blocchi tra quelle salvate e si avvia l'analisi, la spunta su *Prompt Output* permette invece di vedere sul monitor della riga di comando tutti gli step di analisi, in particolare verranno indicati: numero progressivo, % di probabilità, metodo utilizzato per ricavare  $\sigma_{max,2E6}$ , il valore di  $\sigma_{max,applicato}$ , la pendenza della curva di Miner, il danno prodotto dal singolo blocco e il danno cumulato.

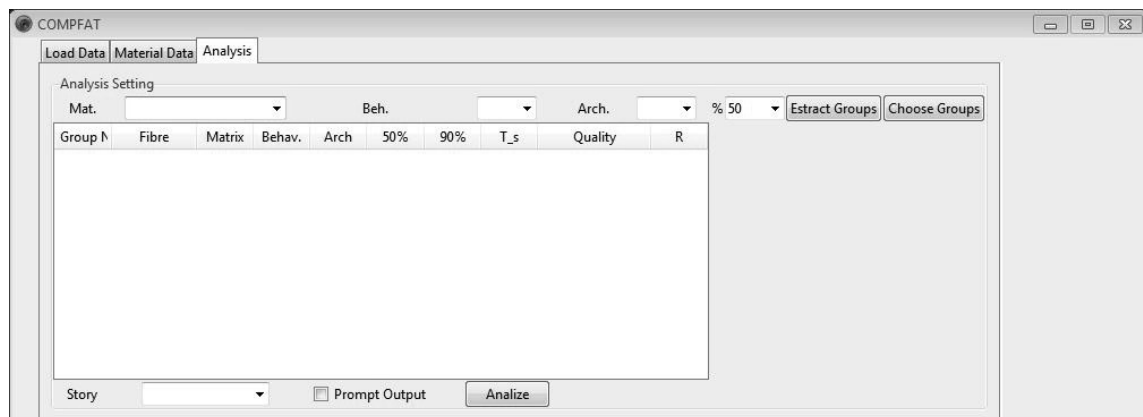


Figura 3.5: Pagina Analysis

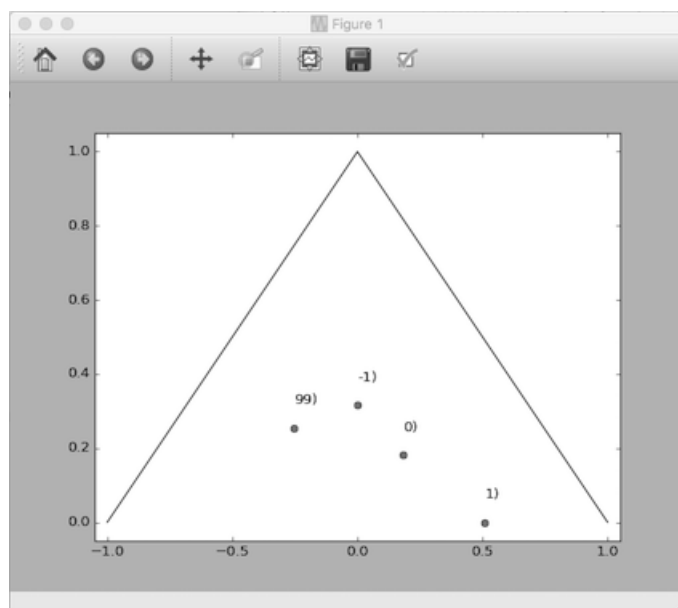


Figura 3.6: Grafico dei gruppi

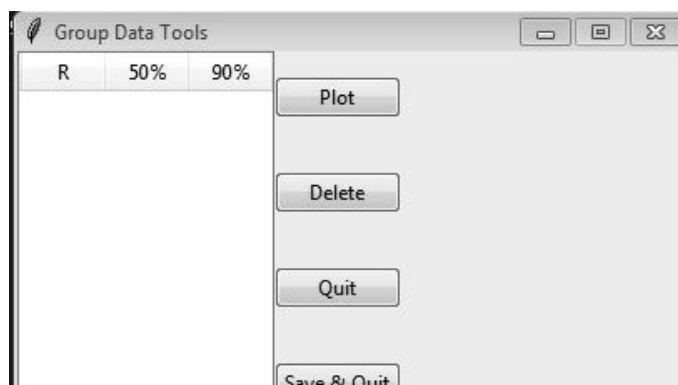


Figura 3.7: Pagina Material Data

### 3.3 Avvertenze

Quando vengono aperte finestre secondarie esse vanno chiuse con l'apposito pulsante e non con la 'x' su fondo rosso in alto. Per una questione

di codice è presente una variabile di controllo per non aprire più finestre contemporaneamente, che si resetta grazie al comando *Quit*

# Elenco delle figure

1.1	Flow chart del software . . . . .	4
1.2	Lista dei gruppi presenti in [1] . . . . .	5
2.1	Spettro di carico . . . . .	7
2.2	Istrogramma cumulativo di una prova di carico . . . . .	7
2.3	Rainflow . . . . .	9
2.4	Metodo interpolativo . . . . .	11
2.5	Haigh generalizzato . . . . .	12
2.6	Curva di Wohler per laminato UD in fibra di carbonio sottoposto a trazione on-axis e $R = 0.1$ . . . . .	13
2.7	Curva di Wohler per valori statistici al 90% . . . . .	14
3.1	Schema generale dell'interfaccia . . . . .	17
3.2	Pagina Load Data . . . . .	18
3.3	Pagina Material Data . . . . .	19
3.4	Pagina Material Data . . . . .	19
3.5	Pagina Analysis . . . . .	20
3.6	Grafico dei gruppi . . . . .	21
3.7	Pagina Material Data . . . . .	21

# Bibliografia

- [1] L.Susmel M.Quaresimin M.Ricotta. «Fatigue prediction of composite laminates». In: *11th European Conference on Composite Materials*. 2004.
- [2] *Standard practices for cycle counting in fatigue analysis*. ASTM International. 2005.
- [3] B.Atzori. *Appunti di costruzione di macchine*. 2<sup>a</sup> ed. Libreria Cortina Padova, 2003.