

Sommario

Oggetto del presente lavoro di tesi è lo studio del comportamento non-lineare dei materiali compositi che presentano una microstruttura eterogenea e periodica. I fenomeni di non-linearità nei materiali compositi possono derivare da diverse cause, quali ad esempio il danneggiamento intralaminare, la delaminazione e il microbuckling delle fibre nei compositi fibro-rinforzati e la propagazione di microfratture nei compositi a struttura porosa. In questo lavoro l'attenzione è rivolta alla modellazione meccanica dei fenomeni di non-linearità associati alla presenza di difetti microstrutturali nell'ambito delle deformazioni infinitesime ed all'instabilità microscopica nell'ambito delle deformazioni finite. Le applicazioni sono sviluppate con riferimento a microstrutture di tipo cellulare e microstrutture contenenti inclusioni.

La tesi è strutturata secondo i seguenti capitoli:

-Nel primo capitolo vengono richiamati i concetti fondamentali sulla teoria delle deformazioni finite. Sono inoltre fornite le relazioni che legano le misure di deformazione coniugate con i rispettivi tensori delle tensioni. Inoltre vengono richiamate le principali relazioni costitutive incrementali con particolare riferimento ai materiali incrementalmente lineari. Infine si richiamano i concetti della stabilità e dell'unicità della soluzione di equilibrio.

-Nel secondo capitolo, dopo una introduzione riguardante i concetti fondamentali che sono alla base delle tecniche di omogeneizzazione, vengono analizzati i fenomeni di micro e di macro instabilità che si manifestano nei materiali compositi caratterizzati da una microstruttura periodica nell'ambito delle deformazioni finite. Tale problema viene trattato mediante una formulazione variazionale. Inoltre si introducono nuove misure di stabilità micro-strutturale corrispondenti alla condizione di positività dei tensori dei moduli omogeneizzati relativi alle differenti coppie coniugate tensioni-deformazioni,

evidenziandone la loro capacità di fornire una previsione conservativa del carico primario di instabilità microscopico.

L'analisi dei fenomeni di stabilità strutturale riveste un ruolo fondamentale non solo perché il collasso nei materiali compositi con microstruttura periodica è spesso correlato alla presenza di tali fenomeni, ma anche in virtù del fatto che l'analisi di stabilità microscopica permette anche di stabilire la regione di validità della procedura standard di omogeneizzazione sviluppata su una cella unitaria.

-Nel terzo capitolo, nell'ambito delle deformazioni infinitesime, si trattano i fenomeni di non-linearità che si manifestano nei materiali compositi, con microstruttura periodica di tipo poroso, a causa della presenza di microfratture. A tale fine si utilizzano i modelli basati sulla micromeccanica e sulla meccanica della frattura. L'energia di rilascio viene ricavata attraverso la tecnica dell'integrale J .

-Nel quarto capitolo sono presentati risultati numerici volti a rappresentare alcuni aspetti salienti del comportamento non-lineare dei materiali compositi con microstruttura eterogenea, ottenuti mediante l'ausilio del metodo agli elementi finiti.

Nella prima sezione sono presentati i risultati numerici con riferimento agli aspetti teorici riportati nel secondo capitolo. Le analisi numeriche sono indirizzate ai materiali compositi, aventi una energia di deformazione iperelastica, che presentano una microstruttura periodica, che può essere sia di tipo cellulare, sia caratterizzata all'interno da una inclusione, la quale a sua volta può essere più o meno rigida. La microstruttura è soggetta a condizioni al contorno di tipo periodico, ed inoltre viene sollecitata mediante condizioni di macrodeformazione imposta di tipo monoassiale ed equibiassiale. Le analisi numeriche sono in grado di illustrare l'esatta regione di stabilità microscopica, ottenuta prendendo in considerazione tutti i dettagli microstrutturali, e la regione di stabilità macroscopica ottenuta studiando le proprietà del materiale omogeneizzato.

Al fine di elaborare criteri macroscopici in grado di fornire una stima conservativa dell'instabilità microstrutturale, si introducono differenti misure di instabilità macroscopiche con riferimento alle misure di tensione-deformazione lavoro coniugate.

Nella seconda sezione del capitolo vengono effettuate delle analisi numeriche con riferimento al modello micromeccanico proposto nel terzo capitolo. La microstruttura

adottata per il materiale composito è di tipo cellulare ed è caratterizzata dalla presenza di due microfratture posizionate in modo simmetrico rispetto al foro. La microstruttura è soggetta a tre diverse condizioni al contorno: spostamenti lineari, fluttuazioni periodiche e trazioni antiperiodiche e trazioni uniformi.

L'obiettivo di questa sezione è di verificare la validità della tecnica di omogeneizzazione nella previsione dei fenomeni di propagazione di microfratture, per materiali con microstruttura localmente periodica.

Le energie di rilascio ottenute attraverso il modello micromeccanico verranno confrontate con una struttura composita 2D costituita da un arrangiamento regolare di 5x5 celle unitarie. La struttura composita è sottoposta a due diverse condizioni di carico, in particolare nel primo caso si ha assenza di contatto tra le superfici delle microfratture, nel secondo caso vi è la presenza del contatto. Il confronto effettuato permette di indagare sull'accuratezza della procedura proposta in presenza di gradienti macroscopici di tensione e di deformazione.