



**TRIBUNALE DI LUCCA
RITO COLLEGALE SEZIONE PENALE**

DOTT. BORAGINE GERARDO	Presidente
DOTT.SSA MARINO VALERIA	Giudice a latere
DOTT.SSA GENOVESE NIDIA	Giudice a latere

DOTT. AMODEO GIUSEPPE DOTT. GIANNINO SALVATORE
Pubblico Ministero

SIG.RA BARSANTI LAURA	Cancelliere
SPINELLI SIG.RA MARILENA - Stenotipista	Ausiliario tecnico

VERBALE DI UDIENZA REDATTO IN FORMA STENOTIPICA

PAGINE VERBALE: n. 251

PROCEDIMENTO PENALE N. R.G. TRIB. 2135/13 - R.G.N.R. 6305/09

A CARICO DI: ANDRONICO SALVATORE + 40

UDIENZA DEL 13/04/2016

LU0010 POLO FIERISTICO

Esito: RINVIO AL 20 APRILE 2016 ORE 09.30

Caratteri: 365638

INDICE ANALITICO PROGRESSIVO

APPELLO E QUESTIONI PRELIMINARI.....	3
DEPOSIZIONE CONGIUNTA DEI CONSULENTI TECNICI DELLA DIFESA – FREDIANI ALDO E BINANTE VINCENZO.....	3
Difesa – Avvocato Mucciarelli.....	4
Difesa – Avvocato Mazzola.....	28
Difesa – Avvocato Ruggeri Laderchi.....	103

**TRIBUNALE DI LUCCA - RITO COLLEGALE SEZIONE PENALE
LU0010 POLO FIERISTICO
PROCEDIMENTO PENALE n. R.G. TRIB. 2135/13 - R.G.N.R. 6305/09
Udienza del 13/04/2016**

DOTT. BORAGINE GERARDO Presidente
DOTT.SSA MARINO VALERIA Giudice a latere
DOTT.SSA GENOVESE NIDIA Giudice a latere

DOTT. AMODEO GIUSEPPE DOTT. GIANNINO SALVATORE Pubblico
Ministero

SIG.RA BARSANTI LAURA Cancelliere
SPINELLI SIG.RA MARILENA - Stenotipista Ausiliario tecnico

PROCEDIMENTO A CARICO DI - ANDRONICO SALVATORE + 40 -

APPELLO E QUESTIONI PRELIMINARI

PRESIDENTE - Buongiorno. Allora cominciamo, apriamo l'udienza con i soliti adempimenti preliminari. *(Il Presidente fa l'appello).*

Vengono introdotti in aula i Consulenti Tecnici della Difesa

DEPOSIZIONE CONGIUNTA DEI CONSULENTI TECNICI DELLA DIFESA -

FREDIANI ALDO E BINANTE VINCENZO

PRESIDENTE - Allora, buongiorno. Sono presenti i consulenti ingegner Binante e ingegner Frediani. Allora, leggete quella formula, poi vi accomodate e ci date le vostre generalità.

C.T. DIFESA FREDIANI - (Dà lettura della formula di rito).

C.T. DIFESA BINANTE - (Dà lettura della formula di rito).

PRESIDENTE - Leĳ vostre generalità complete.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, io mi chiamo Aldo Frediani, sono nato a Pieve San Lorenzo, comune Minucciano, provincia di Lucca, risiedo a Pisa, Via San Biagio 49.

C.T. DIFESA BINANTE - Io sono Vincenzo Binante, sono nato a Catanzaro il 15 di ottobre 1976, risiedo in Via Sorrento numero 17, Catanzaro; domicilio Pisa, Via di Parigi 8.

PRESIDENTE - Bene. Allora, come ci era stato anticipato sarà un esame congiunto, quindi l'unica preghiera per voi è di anticipare ad ogni risposta il nome, per il verbale, di chi risponde di voi. Va bene. Allora, chi comincia?
Avvocato Mucciarelli.

Difesa - Avvocato Mucciarelli

AVV. MUCCIARELLI - Comincerei io, Presidente. Chiedo la cortesia del Presidente del Tribunale e un po' di tutti di avere non più di cinque minuti, che servono - e io confido saranno poi di vantaggio nella velocizzazione della esposizione della consulenza dei nostri consulenti tecnici - per dar conto della struttura della relazione che verrà illustrata, una specie di mappa anticipata, rapidissima, in modo che il Tribunale e tutti noi abbiamo un'idea. Veramente Presidente non più di cinque minuti.

PRESIDENTE - Vada tranquillo.

AVV. MUCCIARELLI - Il tema generale loro l'hanno già sicuramente inteso, perché la relazione del professor Frediani e dell'ingegner Binante è già stata depositata

all'esito delle indagini preliminari e in sede di udienza preliminare. Quella che avremo oggi è un'illustrazione molto più analitica e molto più precisa. Il tema è la propagazione, la dimensione e l'origine della frattura, della fessura, ed è il tema diviso in quattro parti, che poi vedrò sinteticamente. Il metodo operato è quello scientifico, ovviamente. Il canone è consolidato, è quello della spiegazione secondo leggi scientifiche. Questo lo dico per parte nostra, cioè abbiamo chiesto ai nostri consulenti: lavorate tenendo conto di quelli che sono i modelli che servono a noi giuristi. Lascio perdere la dottrina, il tema è a voi notissimo dalla sentenza Franzese, passando per la Cozzini e la ThyssenKrupp. Allora, la prima parte della relazione ha ad oggetto l'analisi dei dati sperimentali. Frediani e Binante li chiamano sperimentali nel loro linguaggio, in realtà sono i dati reali, i dati osservati sull'assile, sull'assile che si è rotto, quello che è stato esaminato. Ed è, signori del Tribunale, lo vedrete nella relazione, un punto cruciale, perché quei dati oggettivi, quei segni che sono la fotografia della storia della frattura, determinano in modo non flessibile il riferimento per verificare la correttezza delle spiegazioni scientifiche. Qualunque spiegazione scientifica, la regola della spiegazione scientifica da Galileo in poi fino agli ultimi esiti dell'epistemologia, quelli richiamati da

ThyssenKrupp e da Franzese, che cosa dicono? Che se una teoria scientifica non corrisponde al dato empirico, quella teoria è falsificata, va abbandonata. Questo è il percorso della prima parte. E qui emergeranno alcuni primi spunti di confutazione delle tesi di altri consulenti. La seconda parte invece della relazione e dell'intervento del professor Frediani e dell'ingegner Binante passa attraverso la dimostrazione della propagazione della dimensione della frattura sulla base delle leggi scientifiche teoriche, astratte, cioè con modelli fisico-matematici, tanto per dirla come sa dirlo un poveretto come me, laureato in giurisprudenza, modelli matematici, ricostruzioni secondo leggi scientifiche, che si accordano con quel dato sperimentale, sono coerenti con quelle indicazioni. Questo è l'approccio scientificamente corretto ed è un approccio che metterò a disposizione di tutti noi...

PRESIDENTE - Avvocato, però non ci anticipi la discussione.

AVV. MUCCIARELLI - No, no, no.

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

AVV. MUCCIARELLI - Le assicuro, è soltanto per dire che in questa parte ci saranno tutti gli elementi necessari per verificare quello che loro hanno detto, tutti i calcoli, tutte le sperimentazioni sono messe a disposizione. La terza parte è la confutazione analitica delle altre teorie esplicative, quelle che sono state proposte. E

questo non è fatto, Presidente, signori del Tribunale, signor Pubblico Ministero, per sfoggio polemico, questo sarà magari parte delle nostre arringhe; è soltanto per mettere a disposizione del Tribunale i criteri per valutare perché scegliere una piuttosto che un'altra, il canone appunto di quelle sentenze. Finisco, rispettando quei cinque minuti che le avevo chiesto, signor Presidente, la quarta parte è dedicata all'origine della cricca, anche qui esaminata col metodo scientifico e mettendo a disposizione sia i dati osservativi sia le leggi che la scienza consente di adoperare per questo.

PRESIDENTE - Bene.

AVV. MUCCIARELLI - Questo è il quadro. Come vede, spero nessuna anticipazione di un'arringa, anche perché se fosse questa l'arringa me la caverei facilmente. Che dice, Presidente?

PRESIDENTE - Prego, allora cominciamo.

AVV. MUCCIARELLI - Volentieri, Presidente. Rapidissimamente chiederei al professor Frediani di presentarsi minimamente, cioè quali sono state le sue esperienze scientifiche e qual è il bagaglio di conoscenze. Una rapidissima presentazione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque - scusate la voce - io sono un professore ordinario di aeroelasticità applicata, del gruppo di costruzioni aeronautiche all'Università di Pisa. Sono diventato professore ordinario nel 1985, in un

concorso presso la Scuola di Ingegneria Spaziale di Roma, La Sapienza. Poi sono ritornato a Pisa, dopo quattro anni, e ho passato il mio periodo successivo a fare il professore, per un periodo ho fatto il prorettore dell'università, e mi sono occupato di vari argomenti. Gli argomenti principali sono stati quelli legati al settore aeronautico, in cui ho cercato di produrre e ho prodotto la maggior parte dei miei lavori scientifici, però mi sono occupato anche di questioni nel campo ferroviario. A questo proposito, ho cominciato ad occuparmi di queste cose perché negli anni Settanta il nostro laboratorio di fatica, che è un laboratorio diciamo finalizzato allo studio delle strutture aerospaziali, aeronautiche in particolare, riuscì... cioè, ebbe l'incarico dalla Breda Costruzioni Ferroviarie di fare delle prove di qualificazione di carrelli ferroviari. Il primo carrello è quello di Metro Cleveland e la prova fu condotta nel 1978. Io progettai l'attrezzatura e condussi la prova. Poi qui ho elencato alcune delle attività che abbiamo condotto in quegli anni, che vanno dal carrello Metro Cleveland, a Washington, cioè esperienze internazionali, Los Angeles, e poi il carrello dell'Alta Velocità, cioè del Freccia Rossa per esempio, l'ho qualificato sotto la mia responsabilità nell'anno 1996; Metro Roma, il tratto(?) portante Boston, Copenaghen, ETR500, politensione,

eccetera. E poi altre cose, carrelli di Madrid, Danimarca, eccetera, fino al carrello portante V250 del 2007. Queste sono altre attività, questi sono progetti che ho condotto personalmente sul campo ferroviario. E questi mi hanno insegnato molto sulla sensibilità riguardo ai fenomeni di fatica. Questa è la macchina che ho progettato per le prove del carrello di Cleveland. Questa è quella di Washington. Queste sono di Los Angeles. Adesso è un banco prova della Breda che ho realizzato e progettato io anche questo. E questa è la prova dell'ETR500, cioè del Freccia Rossa, del carrello.

AVV. MUCCIARELLI - Quindi, mi perdoni professore, solo per sintetizzare questa sua introduzione, lei si occupa dei fenomeni della meccanica della frattura a fatica partendo da un'esperienza aeronautica che poi declina, passa anche su una esperienza, non soltanto di ricerca scientifica ma anche empirica concreta...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - ...nel settore ferroviario.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Dunque, credo che sia noto. Diciamo, le tecnologie aeronautiche sono all'avanguardia nel campo delle... nei vari campi dell'ingegneria. Molte volte le tecnologie vengono trasmesse poi in altri campi, tipo anche il settore ferroviario. Molti degli ingegneri dell'Ansaldo Breda sono stati miei allievi. Proseguendo, ho prodotto anche alcune pubblicazioni. Alcuni, la

maggior parte, sono documenti interni; altri sono articoli di "Ingegneria ferroviaria", "Journal of fatigue" e così via. Qui ne ho elencate un certo numero, mi sembra quattordici o quindici. Poi ho depositato dei brevetti in campo ferroviario. Un primo brevetto è una ruota componibile, una ruota particolare, che ho depositato nel '91. Poi mi sono occupato di brevetti che riguardano gli assali, cioè gli assi sostanzialmente, ruote indipendenti e carrelli articolati antisvio, cioè dei sistemi automatici per evitare lo svio dei carrelli. E poi mi sono occupato di altri problemi riguardo sempre ai carrelli ferroviari, e infine di problemi che riguardano il montaggio dei cuscinetti per sistemi ferroviari nei carrelli stessi.

AVV. MUCCIARELLI - Bene.

PRESIDENTE - Possiamo...

AVV. MUCCIARELLI - Sì.

PRESIDENTE - Mi sembra che...

AVV. MUCCIARELLI - Era soltanto per...

PRESIDENTE - ...sia chiara la competenza.

AVV. MUCCIARELLI - Per chiarire che un professore universitario, che magari non è noto per frequentare Tribunali e aule di giustizia, può sembrare un personaggio che si occupa di cose molto astratte e molto lontane dalla realtà. C'era invece l'esigenza da parte nostra di rappresentare come il professor Frediani sia sì

un grandissimo teorico, ma si occupi anche di cose maledettamente concrete, che fanno parte di quel bagaglio che una volta si chiamava cultura e che adesso - mah - ha varie caratterizzazioni. Sono assolutamente d'accordo, direi che possiamo cominciare a parlare della parte prima, visto che questo lo avevamo anticipato. E allora, direi che il professor Frediani cominci a esporci la sua rappresentazione, la sua illustrazione della parte prima. Noi lo ascolteremo e qua e là, se il professore lo consente, mi permetterò qualche domanda solo per magari chiarire a me quello che lei ha detto.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, io mi sono occupato di due temi, ho curato due tematiche: la propagazione della fessura nell'assile 98331 e l'origine della fessura, cioè il modo con cui la fessura si è originata e perché. Ovviamente i due temi non sono di uguale entità. Infatti nel primo tema ho suddiviso l'esposizione degli argomenti riguardanti la prima tematica in tre parti. Come ha detto il professor Mucciarelli, la prima è l'analisi dei dati della propagazione, quali appaiono dalle marcature presenti sulla sezione fessurata; nella seconda parte invece ho affrontato il problema dal punto di vista scientifico, cioè dal punto di vista delle teorie che ci sono, alla luce dei risultati sperimentali, quindi la loro verifica, in qualche senso; e poi nella parte terza ho affrontato di nuovo alcuni temi che riguardano

documenti prodotti in questo processo da vari autori. C'è una differenza. Nella prima parte affronto anche lì alcune questioni che sono state presentate in altre esposizioni in questo processo, ma senza fare riferimento ad alcun calcolo. Nella prima parte non vedrete nessuna teoria, nessun calcolo, semplicemente parliamo solo della fisica di quello che è successo. Ora io ho bisogno di fissare un minimo vocabolario, per capirci insomma, in modo tale che le parole abbiano un significato chiaro per tutti e inequivocabile. Dunque, "fessura iniziale": io intendo la fessura presente al momento in cui l'assile è entrato in servizio; un "ciclo di carico" corrisponde a una sollecitazione corrispondente a un giro della ruota, l'ampiezza è massima con cisterna piena ed è minima con cisterna vuota nei viaggi di ritorno; altra definizione, il "numero dei cicli di carico" corrispondenti alla fessura iniziale lo assumiamo a zero, cioè partiamo da zero a contare i cicli, al momento in cui l'assile è entrato in servizio. E poi un'altra osservazione.

AVV. MUCCIARELLI - Professore, professore scusi.

C.T. DIFESA FREDIANI - Prego.

AVV. MUCCIARELLI - Assume zero ha detto il momento in cui l'assile viene messo in servizio, cioè quando esce a marzo...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - ...dalla revisione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - (sovrapposizione di voci)

C.T. DIFESA FREDIANI - Il ciclo numero 1 è il primo giro di ruota che compie questo carrello. Poi, il numero di cicli affaticante nel viaggio è noto ed è invariante in tutti i viaggi. Questo è un aspetto interessante. La cisterna ha percorso sempre la stessa tratta. Abbiamo cioè un caso fortuito, questo nel senso che dal punto di vista della interpretazione dei dati, in cui c'è un oggetto che percorre la stessa tratta avanti e indietro, sempre, dall'inizio della sua vita operativa fino al collasso. E questo costituisce un aspetto molto importante per capire cosa è successo, come vedremo, o almeno cercherò di far vedere. Io ho assunto un diametro della ruota di 90 centimetri. Ora, in effetti la ruota, come sapete, è conica, quindi questo è un valore medio stimato, ed è quello nominale. E poi una distanza fra Trecate e Gricignano di circa 900 chilometri, 890... insomma, circa. Quindi il numero dei giri della ruota, cioè il numero dei cicli, è noto, per ogni viaggio è circa 308.000, sia all'andata e 308.000 al ritorno. Poi conoscendo massa rimorchiata, massa totale trasportata, numero dei carrelli e così via, si arriva facilmente a definire un carico nominale massimo durante il viaggio di andata, quando la cisterna è carica, di circa 10 tonnellate, un po' meno. Mentre il carico minimo, quello

nominale al ritorno, è 4,12 tonnellate per ogni ruota, cioè il 42 per cento. Ora, questo numero, 42 per cento, è importante perché, come vedremo, nei viaggi di ritorno - e come è stato già detto anche autorevolmente - la fessura non propaga, perché il 42 per cento è un valore tale che non consente alla fessura di propagarsi quando il carico è maggiore nel tratto precedente, cioè nel viaggio di andata. E questo fenomeno è ben noto a chi si occupa di sperimentazione, o di fisica o meccanica dei solidi, perché si può riprodurre facilmente in laboratorio. Infatti vi farò vedere che così ho fatto, l'abbiamo riprodotto nel laboratorio del Dipartimento attuale di Ingegneria, ex Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale. C'è un altro aspetto importante preliminare a tutta questa questione, che è la storia della utilizzazione di questo assile in esame. Allora, lo schema lo conosciamo, è questo. La posizione in cui si è verificata - non funziona il mouse - la posizione in cui si è verificata la cricca la sappiamo, è quella sezione là, e quindi quella sezione è soggetta ad un carico alternato, e quindi a un momento flettente alternato, fra l'altro rotante, come è stato già detto molto autorevolmente. La storia è questa. C'è stato un primo viaggio da Bozzolo a Trecate, a quanto mi risulta, a vuoto. Quindi questo viaggio non viene conteggiato ai fini della vita a fatica, cioè non ha prodotto

danneggiamento a fatica. Poi ci sono dodici viaggi da Trecate a Gricignano a pieno carico. Il terzo di questi invece è continuato fino a Maddaloni per venti chilometri aggiuntivi, ma sono circa settemila cicli di carico aggiuntivi. Ora, in maniera approssimata li abbiamo trascurati, anche perché in corrispondenza del terzo viaggio la fessura era molto piccola e quindi le marcature sulla sezione non ci sono, come avviene, come si sa che debba avvenire, cioè per fessure molto piccole non ci sono marcature, per ragioni che sono legate alla meccanica dei solidi, ma non a casi fortuiti, come ho sentito dire anche in questo processo. Poi ci sono stati due viaggi da Trecate a Orbassano a vuoto e quindi non importanti ai fini nostri. E infine c'è stato il viaggio da Trecate a Viareggio del 29 giugno 2009. Quindi in totale ci sono dodici viaggi a pieno carico, più il viaggio finale. Ora, quello che è successo è questo: che i viaggi hanno lasciato sulla sezione un'impronta molto precisa, molto accurata, e fra l'altro la sezione è stata ben conservata, per cui ha trasmesso queste informazioni anche durante l'incidente probatorio, perché tutte le analisi che sono state condotte a Lovere sono state interessanti perché hanno permesso di ricostruire la serie di marcature che è presente qui su questo assile. Ora, c'è un effetto fondamentale, decisivo, per capire... per capire cosa è successo, ed è l'analisi della storia

della deformazione... cioè della storia della propagazione che è intervenuta in questa sezione fessurata. Quando non si tenga conto di questo - e molto spesso non è stato fatto - fino in fondo, con tutte le sue conseguenze, è facile assistere, come dico, come scrivo qua in maniera decisa, a grandi banalizzazioni di problemi complessi ed estreme complicazioni di problemi semplici. Tutto ciò è connesso a difficoltà oggettive per capire un fenomeno molto complesso qual è quello della propagazione della fessura che abbiamo sotto esame, e diventa estremamente difficile capirci qualcosa, ed estremamente volatile il tipo di analisi che si può fare, se non ci sono le osservazioni che ci guidano, cioè la fisica che ci racconta cosa è successo in sé. Ora qui vi mostro un'altra slide, nella quale nei viaggi di andata a pieno carico cosa è successo? La fessura è propagata per fatica e, come è ben noto, la propagazione per fatica lascia ben visibile nella sezione una striscia, una fascia liscia uniforme, chiaramente marcabile, chiaramente visibile. Invece nei viaggi di ritorno che, come ho detto prima, sono pari al 42 per cento del pieno carico, la fessura non propaga a causa dell'effetto della storia della deformazione all'apice della cricca, cioè il materiale ha una memoria, è un effetto di memoria del materiale il quale produce all'apice della cricca delle deformazioni reversibili, si chiamano deformazioni

plastiche, le quali impediscono, danno luogo a delle tensioni di compressione dell'apice, in modo tale che gli impedisce di propagare. La propagazione riprende al momento in cui la cisterna si ricarica e cominciano i viaggi da Trecate a Gricignano. Ora ricomincia il processo di propagazione. Allora, questo è quello che è ben noto e che si può facilmente riprodurre in laboratorio. Inoltre, oltre alle marcature sono visibili anche altri disegni, che sono interessanti, come vedremo nella parte quarta, e cioè dei fenomeni di *fretting* locale, che sono intervenuti all'inizio della propagazione, allo stesso modo con cui sono intervenuti i fenomeni di *fretting* al momento in cui la fessura si ferma. E nel viaggio di ritorno, quando la fessura non riesce a propagare per effetto della plasticità localizzata all'apice, avviene che avvengono dei martellamenti delle particelle del materiale, cioè, diciamo, la grana del materiale subisce degli sbattimenti e produce una polverina rossa che si chiama di "*fretting*". Ecco, la marcatura è il risultato di questo. In laboratorio vi farò vedere che si può riprodurre facilmente e la larghezza della marcatura dipende infatti dalla grana. Infatti io vi farò vedere due tipi di assili, uno con grana grossa, che presenta una marcatura più grande corrispondentemente all'entità della grana, e una più piccola che corrisponde a una marcatura più fine,

ancora conseguentemente alla grana fine del materiale. Quindi è un fenomeno ben noto, vi ripeto. Ora, io vi faccio vedere qui una prima foto nella quale mostro un assile, quello con la grana grossa, in cui vedete queste righe. Queste righe sono quelle marcature di cui vi ho parlato ora.

AVV. RAFFAELLI - Possiamo fare abbassare la luce?

PRESIDENTE - Possiamo abbassare la luce, per favore?

C.T. DIFESA FREDIANI - Fra l'altro io ho portato qui un campione, e quindi lo lascio a disposizione anche degli esperti, insomma di quelli che vogliono occuparsi di queste cose. E' un campione che riguarda quella sezione fessurata, ed è visibile, ecco.

AVV. MUCCIARELLI - Posso chiedere se ci illustra un attimo la foto? Grazie?

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa, non mi funziona il mouse, altrimenti poi... Dunque, come vedrete in alto ci sono dei segni fatti con una mola. Quei segni sono stati fatti con una mola di 2/10 di millimetro e abbiamo messo del diamante, per fare un segno sottile. Quello serve per far propagare... per far iniziare la cricca, altrimenti dal punto di vista sperimentale è impossibile riprodurre una propagazione con i casi reali, perché gli assili sono progettati a durata indefinita. Da quello spigolo centrale è partita la cricca e si è propagata. In questo caso la sollecitazione è a flessione alternata, quindi le

righe che vedete sono praticamente orizzontali, a differenza di quelle che vedremo nell'assile in cui le righe invece... le marcature non sono fatte in questo modo perché la ruota sta girando e la sollecitazione è di flessione rotante, cioè contemporaneamente c'è flessione e poi la ruota gira. Le prime marcature, quelle nella fascia scura, sono state fatte ravvicinate, perché in effetti non si riusciva a vedere molto bene la forma, la presenza della cricca sulla striscia. Poi le abbiamo marcate in maniera più evidente nella fase successiva e si capisce qua facilmente che le marcature sono più evidenti quanto più è profonda la fessura. Questo dipende ovviamente da cose ben note della meccanica dei solidi, collegate alla presenza del fattore di intensità degli sforzi diviso la tensione di snervamento del materiale. Sono teorie note. Ecco, tutto questo è quello che è avvenuto nell'assile reale. Il fenomeno è lo stesso, ovviamente distinguendo la flessione rotante da questa flessione alternata. Allora, quello che è successo è che in ogni viaggio è rimasta l'impronta stampata sulla sezione fessurata, uno stampo. Quindi l'andata ha prodotto un incremento di zona fessurata, di fessura, cioè un'area fessurata che è ben visibile, e il ritorno ha prodotto la sua marcatura. Allora è successo questo: che abbiamo delle strisce sulla sezione fessurata, in cui c'è una banda molto liscia che corrisponde alla

propagazione e una marcatura che corrisponde al viaggio di ritorno e relativa a quel viaggio di andata. E la cosa interessante è che tutti i viaggi avvengono nelle stesse condizioni, cioè stesso numero di cicli, più o meno stessi carichi, più o meno stessa storia delle tensioni, perché ovviamente la linea ferroviaria è quella, ha percorso lo stesso tratto, più o meno con le stesse caratteristiche, perché i macchinisti hanno una procedura che si ripete ad ogni viaggio. E questo, per quanto riguarda la mia conoscenza e quella di Vincenzo Binante, pur confessando che io non sono pratico di tutta la letteratura ferroviaria ma ho cercato di trovare casi analoghi, ad oggi non sono riuscito, cioè non mi è noto, ecco, un caso in cui ci sia una chiara identificazione di quello che è successo nella storia degli incidenti ferroviari. Allora...

AVV. MUCCIARELLI - Professore, mi perdoni - Avvocato Mucciarelli - l'unicità, se io non intendo male, qui è data in particolare dalla circostanza che da quando riprende il servizio il treno, e quindi l'assile, percorre sempre la stessa strada, sempre lo stesso carico. Questo è l'aspetto di unicità a cui si riferisce?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Non solo, ma anche diciamo la chiarezza delle impronte sulla sezione e la conservazione che è

stata fatta, che ha consentito di avere diciamo un panorama finale molto molto chiaro. Allora, queste linee di marcatura sono state rilevate in sede di incidente probatorio presso la Lucchini da parte dell'ingegner Ghidini e sono state attribuite ai viaggi di ritorno a vuoto, cioè a tara, sia dall'ingegner Ghidini, sia dal mio collega professor Leonardo Bertini dell'Università di Pisa. Loro sono le uniche persone che io abbia ascoltato in questo processo, che hanno fatto chiaro riferimento al significato fisico di queste marcature, ed io ovviamente concordo assolutamente con loro. Presso la Lucchini, in sede di incidente probatorio, avendo a disposizione dei sistemi di illuminazione più opportuni, le lenti e i sistemi di ingrandimento più opportuni e così via, hanno individuato con chiarezza i fronti degli ultimi cinque viaggi sul totale di dodici, oltre ovviamente alla presenza del fronte relativo al viaggio Trecate-Viareggio, e le marcature relative alle fessure poco profonde invece non sono visibili, cioè quello che non si vede sono le marcature relative ai primi sette viaggi, che corrispondono ad un'area molto circoscritta dell'assile. Ora, io qui riporto la sezione... una figura che ho tratto dalla relazione A8, 157, dell'ingegner Ghidini, a pagina 2, nella mia slide numero 27, in cui sono messe accanto la foto della sezione collassata e le marcature che sono state rilevate in sede di incidente

probatorio, ripeto, presso la società Lucchini di Lovere. Ora, una cosa che si può osservare è questa, molto chiaramente: dunque, i viaggi non sono tutti uguali; in particolare qui vi faccio osservare che l'ultimo viaggio inizia in corrispondenza di quella marcatura. Quello lì. Quel viaggio, ecco, quello lì è il momento in cui il treno parte da Trecate e si avvia verso Viareggio. La prima parte del viaggio la fessura propaga con un fenomeno simile al caso precedente. Poi molto rapidamente, cresce talmente velocemente che...

PRESIDENTE - Vogliamo... scusi professore, vogliamo indicare quando...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

PRESIDENTE - ...con il laser indicate, possiamo anche a verbale indicare a cosa si riferisce più specificamente?

C.T. DIFESA FREDIANI - Parliamo della figura... della slide 27 e stiamo indicando... chiedo scusa, la figura a destra, la figura a destra a pagina 27, che rappresenta la foto(?). Ecco, volevo far vedere, dunque, la parte finale del collasso, quello che è intervenuto a Viareggio, è caratterizzata da quella superficie corrugata, molto corrugata. Fra l'altro potete osservare che il sistema con cui è corrugata parte da sinistra verso destra e il collasso finale è avvenuto dove c'è quel profondo cratere. Quindi in realtà il collasso è avvenuto mentre la ruota stava girando. Infatti non è improvviso. Nello

spazio di una frazione di giro è avvenuto il collasso finale e ha ceduto il fusello. Alcune... da qui io traggo alcune prime, ecco, semplici osservazioni, e cioè lo schianto di Viareggio è chiaramente individuato e l'area della sezione residua è una frazione dell'area totale. Se ritorno un attimo indietro e guardiamo il materiale, nella figura a destra della slide 27 è indicato un campo grigio; quello rappresenta - è stato almeno così prodotto dall'ingegner Ghidini a Lovere - rappresenta il collasso finale, cioè l'assile è stato in grado di portare il carico di 10 tonnellate fino a che non è ridotto in quelle condizioni. Ora, se uno... il diametro è circa 150 millimetri, poco meno; la parte fessurata è 90; quindi quella che rimane di diametro è circa una cinquantina di millimetri, un po' di più. Quindi il rapporto delle aree è 50... diciamo 60 su 150, quindi è meno... siccome le aree vanno con i quadrati, quindi l'area rimasta è un quarto, un quinto di quella finale. Questo tipo di considerazione molto semplice indica che il materiale con il quale è costituito questo assile è un materiale di elevata qualità, è un materiale che ha un'elevata tenacità a frattura. La seconda osservazione è che la morfologia del materiale nella fascia della propagazione relativa all'ultimo viaggio indica un altro fatto: che c'è stato un - ritorno alla slide numero 27 - c'è stata una sovrapposizione di due fatti: la propagazione per

fatica e la propagazione invece per collasso statico. Cioè, quando la fessura è molto grande e la *crack driving force*, cioè la forza che tende a far aumentare la fessura, è abbastanza grande, ci sono dei fenomeni di collasso che avverrebbero anche se non ci fosse la fatica, tanto è vero che la superficie è corrugata in maniera diversa. Allora questo per... questo per dire che... questo per giustificare un fatto, da un punto di vista metodologico mio, che è questo, e cioè per considerare l'ultimo viaggio come un viaggio un po' anomalo rispetto a quelli precedenti, cioè non descritto esattamente con le stesse regole della propagazione, e quindi io l'ho messo nell'analisi, anche se ovviamente questo non cambia nulla nel risultato finale della lunghezza iniziale, sia perché riguarda la parte finale del collasso e non quella iniziale, sia per il fatto che se tenessi conto rafforzerebbe ancora di più la tesi che la lunghezza di fessura era molto piccola. Ecco, qui riporto, nella slide numero 29, il dettaglio della superficie dell'assile in prossimità della zona di rottura finale e chiarisce, ecco, o almeno cerca di chiarire quello che ho detto a voce. Una cosa che forse si poteva indagare meglio era il fusello, cioè la superficie analoga di questa, però dalla parte del fusello. Forse avrebbe rivelato alcune cose interessanti sull'origine, ma poi questo tutto sommato non è stato

fatto e abbiamo perso questo tipo di informazioni. Allora, come dicevo prima, qui sintetizzo, nel senso che non terrò conto del viaggio Trecate-Viareggio e comunque questo non cambia nulla dal nostro punto di vista. Ora ritorniamo alla zona fessurata. Allora, qui succede che in cinque viaggi la fessura è passata da quella riga viola che vedete lassù, quella azzurra anzi, quella lì che viene indicata ora nella slide numero 31, in cinque viaggi il treno... cioè, l'assile è stato collassato, è arrivato al collasso. Vuol dire che i primi sette viaggi sono contenuti in quel cerchietto che abbiamo indicato con un'elisse tratteggiata. Secondo aspetto: la forma della sezione non è piana, ma è convessa. E questo vedremo che ha qualche importanza ai fini delle risultanze di quanto stiamo dicendo. Perché le fessure piccole non si vedono? E' un fatto - come dicevo - ben noto a chi si occupa di meccanica dei solidi di questo tipo. Le fessure non si vedono perché il modello teorico, che ci spiega perché si vedono o meno, riguarda la teoria della meccanica della frattura lineare elastica e c'è un parametro che definisce l'entità della zona plastica che si forma, un parametro che si chiama fattore di intensità degli sforzi diviso due volte, il doppio della tensione di snervamento. E' un fatto tecnico, ma sta a indicare che se la fessura è piccola e se la forza che tende a farla propagare è piccola, la marcatura non si vede, cioè

la zona plastica è molto poco visibile. Mano a mano che la fessura cresce, a parità di carico esterno invece la *crack driving force*, la forza che tende ad aumentare la fessura aumenta molto e quindi rimane una marcatura, il materiale mantiene una storia in memoria che si rivela attraverso appunto le marcature.

AVV. MUCCIARELLI - Scusi professore - Avvocato Mucciarelli per il verbale - solo perché poi proseguiamo con questo tema, sulla diapositiva che ha mostrato dianzi con le figure, le linee corrispondono a quelle che avete riscontrato sull'assile, quelle, diciamo così, riscontrate da Ghidini?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Queste sono esattamente le linee che abbiamo riportato, a parte i colori, e sono esattamente quelle che ha riportato Ghidini nel documento... cioè nella sua attività nell'incidente probatorio. Abbiamo...

AVV. MUCCIARELLI - Non è una simulazione. E' soltanto la trasposizione grafica di quello che c'era, ecco. Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ad eccezione... ecco, un'altra cosa. Quei cicli lassù nel mezzo no.

AVV. MUCCIARELLI - No.

C.T. DIFESA FREDIANI - No, quelli...

AVV. MUCCIARELLI - Certo, sono quelli...

C.T. DIFESA FREDIANI - Quelli li abbiamo messi noi con colore diverso per dire: guardate che i primi sette cicli stanno

lì, ed è molto qualitativo. I cinque viaggi invece sono quelli che ha riportato l'ingegner Ghidini.

AVV. MUCCIARELLI - Quelli... quelli colorati con varianti dal viola all'arancione...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - ...sono quelli reali, effettivi. Quelli che stanno nella parte in alto...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. MUCCIARELLI - ...sono, come lei li chiama, qualitativi perché nessuno li poteva vedere perché sono...

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, torniamo...

AVV. MUCCIARELLI - ...i sette iniziali.

C.T. DIFESA FREDIANI - Partiamo da lì. Ecco, quello è il viaggio di ritorno, il settimo viaggio di ritorno a marcatura. Lì inizia l'ottavo viaggio. Qui finisce l'ottavo viaggio. Qui inizia il nono. Qui finisce il nono. Qui comincia il decimo e qui finisce il decimo. Undicesimo, dodicesimo. E' tutto scritto, quello che... è veramente una cosa... una circostanza anomala, ecco, credo, nel campo degli incidenti ferroviari, che io conosca, insomma. E' assolutamente interessante.

AVV. MUCCIARELLI - Grazie, ho finito.

C.T. DIFESA FREDIANI - Prego. Allora, il fatto è questo: che queste informazioni ci consentono di determinare la legge con cui la fessura è propagata direttamente da quello che è scritto lì dentro, cioè da quello che è scritto nella

zona della sezione fessurata. Ed è possibile determinare la legge di propagazione della fessura, cioè di quanto incrementa la fessura ad ogni viaggio. E' possibile farlo in maniera diretta, basta leggere quello che c'è scritto lì. Ora, come si può fare questo? Le tecniche sono note. Intanto si può fare attraverso una semplice costruzione geometrica, in questo modo: guardate qua, dunque, sull'asse delle ascisse, cioè orizzontale, partendo da zero, abbiamo assunto $N_0=0$, riportiamo il numero di cicli relativo ad ogni viaggio, 308.000 circa, vedete, e qui sopra in alto nella slide 25 sono riportati il numero del viaggio che stiamo considerando. Allora, alla fine di ogni viaggio, come vedete, c'è segnata una lunghezza di fessura, che è quella rilevata sull'assile. Quindi quei punti hanno due coordinate: il numero dei cicli sulle ascisse e la lunghezza di fessure in ordinate. E questa è la legge che descrive il comportamento della propagazione. E' scritta là. Si tratta semplicemente di capire, di estrapolare quella legge a tutto il campo.

Difesa - Avvocato Mazzola

AVV. MAZZOLA - Scusi professore, Avvocato Mazzola per il verbale, quindi quei punti, quei numeri segnati sono i numeri che sono stati rilevati in sede di incidente probatorio?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MAZZOLA - La dimensione della frattura rilevata in sede di incidente probatorio?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ora specificherò meglio cosa vuol dire quel numero, perché in effetti la fessura non è un numero, è un fronte, però vedremo che, diciamo, il fenomeno viene ridotto a studiare una sezione centrale e a questo punto viene ridotto a un problema bidimensionale, e hanno senso quei numeri. Sul fatto più tecnico ci arrivo fra poco, ma insomma, per capirci, quello lì rappresenta il diagramma che rappresenta la storia della propagazione, cioè come è cresciuta la propagazione ciclo per ciclo, cioè viaggio per viaggio, in maniera... in maniera molto pulita. E fra l'altro, da un punto di vista qualitativo non è facile trovare fenomeni descritti con tale precisione. Fra l'altro la legge è molto regolare, come vedete. Anzi, dal punto di vista sperimentale è una sorta quasi di eccezione. Allora, il diagramma che otteniamo è questo, come dicevo: ho riassunto queste considerazioni in questa slide numero 36, e cioè nella storia delle ferrovie o degli incidenti ferroviari collegati ad assili i dati del diagramma precedente, della slide 35, costituiscono forse il risultato più importante che si sia mai visto ai fini della comprensione del fenomeno di fatica degli assili; essi raccontano in modo diretto che il fenomeno della rottura degli assili avviene in tempi rapidi quando una

fessura, seppure piccola, sia presente. Allora qui siamo di fronte a un fatto: quanti viaggi ha fatto per passare dalla lunghezza iniziale a quella finale? Cinque viaggi. Cinque viaggi sono cinque giorni. Quello che è successo qua è successo in qualche giorno di viaggio, non in anni. E non c'è bisogno di fare nessuna teoria, non c'è bisogno di scrivere nulla, è scritto là. Qui dentro c'è scritto questo: che in cinque viaggi questa qui è passata, la fessura è passata dalla lunghezza iniziale al collasso di Viareggio. Non so se... Lo ripeto: in cinque giorni è successo questo e in dodici giorni è successo il finale. Allora, se ci rendiamo conto di questo capiamo che la propagazione è un fenomeno rapidissimo. Al contrario di quanto abbiamo sentito fino adesso è la rovescia; ho sentito dire molte volte, anche parlando con colleghi a Lovere in sede di incidente probatorio, ho sentito dire da gente che si occupa di sicurezza che se questo fosse vero a tutti i carrelli si sarebbero rotti gli assili. Non c'è niente di più falso. La rottura di un assile è il risultato di due fatti: la nascita di una fessura e la propagazione della fessura. La nascita della fessura è un evento rarissimo, che avviene in maniera rarissima, tant'è vero che qui spiega perché raramente si rompono gli assili. Ma la propagazione, che è l'atto finale, è questo, avviene in tempi molto rapidi. Ora io cercherò di spiegare bene questa situazione vedendola da diverse

angolature. Come ripeto, la probabilità che la fessura sia presente è molto bassa. Io però intendo... dobbiamo capirci. La fessura non è un intaglio, non è uno spigolo arrotondato, non è l'impronta di una sassata nell'assile. La fessura è la presenza di un bordo aguzzo, che nasce da un difetto, da corrosione, da tanti effetti, ma corrisponde al bordo aguzzo. Nella meccanica dei solidi parlare di fessura vuol dire teoricamente che lo stato di tensione all'apice della stessa è infinito, mentre se io faccio uno stato di tensione intorno a un foro l'amplificazione vale 3 E quando c'è una cricca vale infinito. Questa è la differenza sul campo scientifico di cosa significa cricca e meccanica della frattura rispetto a fatica. Sono due cose assolutamente diverse. Molte di queste cose le ho imparate in molti anni di laboratorio, e ovviamente dal punto di vista matematico e da un altro punto di vista. Ora io vi vorrei mostrare come si può fare per determinare una legge di propagazione partendo dai dati che abbiamo. Ora qui non c'è nulla di strano, perché se pensiamo - che ne so, faccio un esempio banale - a quando Keplero ha detto che... quando Keplero ha detto che le orbite sono ellittiche, non è che ha osservato tutte le orbite di tutti i pianeti e di tutti i corpi celesti. Ha osservato un fenomeno e ha dedotto la legge. Ha fatto come Newton. Questa penna cade e la gravità è questa. Qui si fa lo stesso. In tutti i

fenomeni fisici si determina il comportamento, la legge, e poi si estrapola la legge che vale in un campo, in un certo campo. Ora io vi faccio vedere un semplice curvilineo. Qui avete un filmato in cui cosa fa? Qui accanto a me c'è il mio amico Paolo Toni, che si ricorda benissimo quando non avevamo strumenti diversi da questo. Con questi strumenti è stato fatto il Boing 747, siamo andati sulla luna, sono state fatte tutte le attività di ingegneria di questo mondo, anche senza avere il computer a disposizione. L'interpolazione e i disegni si fanno così. E le leggi sperimentali si interpolano in questo... si interpolavano in questo modo. Ma farò vedere che non è l'unico modo, ovviamente. Allora, cosa si fa? Si determina una porzione di curvilineo, si interpolano i dati diciamo a occhio, con un best fit, cioè una curva che passa nel mezzo e che li interpola, e si continua la legge fino a determinare il campo, fino ad occupare il campo. E questo è quello che vedete. Ecco, quella è la legge con la quale abbiamo formulato l'ipotesi di propagazione. E quello è il valore iniziale a ciclo 0. La lunghezza iniziale è molto piccola, è meno di due millimetri. La tesi che vi sto esponendo è che la lunghezza iniziale, la cricca, con una fessura con un apice aguzzo, era minore di 2 millimetri quando è successo... quando questa ha cominciato a propagarsi. Allora, la prima conclusione è questa... allora, la prima

conclusione che io traggo è questa: in questa particolare situazione dell'assile 98331 è stato possibile valutare la profondità iniziale della fessura con un semplice curvilineo. Essa risulta inferiore a 2 millimetri. Allora uno può dire: ma questa cosa è banale. Allora, malgrado l'apparente banalità della procedura adottata, essa è del tutto legittima, e anche accurata, vi farò vedere. Perché è legittima? Perché... perché possiamo formulare un teorema, finalmente, cioè una affermazione che vale in senso matematico, non è in senso cabarettistico, voglio dire. Un teorema è il seguente ed è molto semplice. Del fenomeno in esame... dunque, pensate un attimo alla curva precedente. La curva di crescita della fessura non può avere alcun minimo nel campo dei cicli di carico. E questa affermazione ha la forza di un teorema in senso scientifico - e vi do la dimostrazione - e poi è alla base di un sacco di ragionamenti che servono per prendere anche in esame altre teorie che sono state formulate. Dunque, la dimostrazione di un teorema si può fare in vari modi, ma qui la facciamo per assurdo. Chiedo scusa agli esperti, ma lo dico per i non esperti. Allora, la dimostrazione per assurdo consiste in questo: la tesi può essere vera o falsa; assumiamo che sia vera... assumiamo, scusate, che sia falsa... assumiamo che sia vera e arriviamo ad un assurdo, ovvero supponiamo che per assurdo esista un minimo della curva, cioè prendete la

curva che abbiamo dedotto precedentemente che interpola i dati; non estrapoliamola neanche tanto; i dati sono certi, i punti rossi sono punti sperimentali, sono dati di riferimento. C'è una curva che li interpola. E allora questa curva qui si dice che non può ritornare... non può avere un minimo, cioè non può crescere verso l'inizio. Questo è assurdo. Perché? Perché se questo avvenisse, immaginate di partire per esempio...

AVV. MAZZOLA - Scusi professore - Avvocato Mazzola - solo per il verbale ci può dire per favore i dati che sono inseriti? Cioè, lei disegna una curva e poi c'è una curva tratteggiata che arriva a un valore. Quel valore, che è sopra 10, è il valore...? Che valore è?

C.T. DIFESA FREDIANI - Questa è una curva... quella tratteggiata serve per dimostrare l'assurdo del teorema.

AVV. MAZZOLA - Sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' una curva che non esiste, tant'è vero che dobbiamo dimostrare che non può esistere.

AVV. MAZZOLA - No, certo, però se noi vediamo 10, sarebbe un'ipotetica misura di fessura che è 10. Giusto?

C.T. DIFESA FREDIANI - E' del tutto ipotetica.

AVV. MAZZOLA - Sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - Io stavo dicendo però che non può...

AVV. DALLA CASA - Scusi Presidente, scusi...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...non può...

AVV. DALLA CASA - Presidente, mi scusi... Scusate, volevo

interrompere solo... siccome a volte vengono fatti passaggi da una slide all'altra e il commento continua, se fosse possibile ogni volta rammentare il numero della slide anche in commento, altrimenti nella lettura del verbale diventa difficile comprendere.

PRESIDENTE - Sì, Professore, sì, grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Chiedo scusa, è giusto. Dunque, siamo alla slide numero 41. Qui abbiamo riportato, vedete, il settimo viaggio che corrisponde a quella lunetta, e il dodicesimo viaggio che corrisponde alla curva finale. Allora, il punto finale è 62.4 e il settimo viaggio è 14.2. Questi dati sono certi, quindi sono avvenuti in cinque viaggi. Poi abbiamo prolungato... abbiamo supposto per assurdo che sia possibile una curva come quella tratteggiata. Questa curva avrebbe un minimo, cioè un punto a sinistra e a destra del quale il valore è più grande di quello relativo al minimo. Allora, se questo fosse vero, immaginate di partire da un viaggio, per esempio dal viaggio... il primo viaggio, avete per esempio la lunghezza di 12-13 millimetri. Alla fine del primo viaggio la lunghezza sarebbe minore di 10. Quindi cosa vorrebbe dire? Che la fessura si è saldata, cioè sotto carico affaticante la fessura si sarebbe saldata da sola. Ora, siccome questo è impossibile, il fenomeno è impossibile perché il fenomeno è irreversibile. Quindi quell'andamento lì non ci può essere. Quindi vuol dire

che se noi percorriamo la curva in senso discendente, da 62 tornando indietro, quando arriviamo a 14 il viaggio precedente, cioè il settimo viaggio, deve cominciare ad una lunghezza più piccola di quella della fine, e il sesto viaggio deve cominciare ad una lunghezza più piccola di quella della fine del sesto, cioè l'andamento deve essere quello che abbiamo indicato, ovvero quello che abbiamo indicato con il curvilineo. Uno potrebbe obiettare però che può darsi che in un ciclo si saldi e in altro no, oppure si saldi uno e due propaghino. Questo è impossibile, perché il teorema vale non solo per ogni viaggio, vale per ogni ciclo, cioè non è possibile che le fessure si saldino durante la propagazione per fatica. Questo ha la stessa... la stessa validità del fatto che se io prendo questo oggetto casca e dico che casca qui e non si attacca al soffitto. Quindi questo è un dato di partenza. Cioè, una volta individuata la legge sui dati sperimentali, quella legge è la legge che continua fino all'inizio del processo di propagazione. Allora... allora questo ha delle conseguenze.

AVV. MAZZOLA - Scusi professore, quindi ci sta dicendo che la frattura può solo crescere di dimensioni?

C.T. DIFESA FREDIANI - La fessura può solo propagare, non si può richiudere mai. Può rimanere ferma nel caso in cui si presentino fenomeni, come abbiamo accennato in precedenza, di deformazione plastica, tensione residua di

trazione... di compressione si chiama, che è ben noto agli studiosi, ma non si può saldare. Quindi questo spiega perché l'andamento dev'essere quello che abbiamo fatto col curvilineo. Quindi la curva che abbiamo... diciamo, la interpretazione che abbiamo dato non è casuale. Allora, riassumo. Nella slide numero 44, una conseguenza del teorema. La fessura, come è noto, cresce con continuità e la funzione matematica, cioè quella curva che vedete, io la chiamo funzione matematica, che riguarda lunghezza di fessura e numero dei cicli, è continua, perché il fenomeno è continuo, ed è definita in un insieme, cioè il numero dei cicli in ascisse, che è limitato e chiuso. Allora, i miei colleghi sanno che esiste un teorema che si chiama di Weierstrass, che ci assicura che questa curva, che questa funzione ha massimo e minimo valore. Ora è chiaro che massimo valore è quello della lunghezza finale. Il minimo valore che c'è non può essere interno, quindi il minimo valore è quello della lunghezza iniziale, cioè $N=0$, quindi vuol dire che la decrescita dev'essere continua. Il minimo quindi corrisponde a $N=0$. Allora, tornando a ritroso dal settimo viaggio indietro, la funzione deve decrescere con regolarità, come appunto abbiamo ricostruito, ripeto ancora, con il nostro modesto curvilineo. Allora, ora riassumo nella slide numero 45 la peculiarità di questo incidente. Primo: il carro ha percorso uno

stesso tragitto, con circa la stessa storia. Io non lo so se il macchinista ha accelerato, insomma più o meno la storia è quella; nelle stesse condizioni della linea, presumibilmente; con l'assile nella stessa posizione nella composizione del treno. Poi ci ritorno un attimo. Secondo: la storia della propagazione è rimasta stampata sulla sezione fessurata per cinque viaggi e quindi conosciamo quello che è successo dal settimo viaggio al dodicesimo. Terzo fatto: la sezione è stata ben conservata, così come le informazioni che sono state in essa contenute, quindi la lettura è stata una lettura condotta in maniera affidabile presso la Lucchini. Infine faccio notare che non è stato necessario per ricostruire il fenomeno altro che non le informazioni contenute sull'assile, fino ad arrivare alla profondità iniziale della fessura. Dunque, la composizione del treno, ritorno sul punto numero 1. La composizione del treno è importante. Non è mai stato accennato qui dentro, nemmeno da quelli che si occupano della sicurezza dei sistemi ferroviari, che forse io credo avrebbero dovuto farlo, o potuto farlo. La composizione del treno è importante perché, come tutti sappiamo, come tutti sappiamo... come tutti possiamo sapere verificandolo, andando in treno vicino al primo locomotore, nella carrozza vicino al primo locomotore, il carrello più sollecitato è il primo dopo il locomotore, è ben noto. Io ho chiesto queste

informazioni... ho verificato queste informazioni con i miei allievi, che lavorano alla Hitachi attuale, che si occupa di dinamica dei sistemi ferroviari. Ho chiesto conferma a loro e mi hanno confermato che il primo carrello è quello più sollecitato. Non solo, ma all'interno del primo carrello il primo assile è quello più sollecitato nel caso delle linee di piccola curvatura, sistemi tramviari cittadini, metropolitane; ma il secondo carrello, quello che è più sollecitato è nel caso dei raggi di curvatura tipici delle ferrovie...

AVV. MAZZOLA - Scusi, il secondo assile, non il secondo carrello.

C.T. DIFESA FREDIANI - Come?

AVV. MAZZOLA - Il secondo assile, non...

C.T. DIFESA FREDIANI - Il secondo assile del primo carrello, chiedo scusa, non so cosa ho detto. Ecco, questo è un aspetto interessante, perché qui è successa una serie di drammi, di coincidenze, che sono finite in maniera drammatica. Cioè, questo assile è finito nel posto più sbagliato e nel momento più sbagliato, è finito proprio nella seconda posizione del primo carrello. Nei viaggi di ritorno succede lo stesso. Il carico è molto minore, ma il numero dei cicli è quello che... l'ultimo... questo diventa ultimo nel viaggio di ritorno. L'ultimo viaggio di ritorno è quello che non produce cricche, l'abbiamo detto, non produce avanzamento, ma è soggetto ad un

martellamento, è soggetto ad un numero di cicli molto maggiore degli altri perché c'è un sistema di... cioè, le vibrazioni che sono in coda sono maggiori di quelle in attacco. Però in questo caso non producono danni perché la differenza fra il carico in andata e ritorno è superiore al 50 per cento. Adesso però è chiaro che nella slide successiva, la 46, sintetizzo un altro concetto, cioè affrontiamo il problema della determinazione della legge in un altro modo, cioè utilizzando uno strumento dello studio delle funzioni, cioè usiamo un po' di matematica. E chiaramente uno potrebbe anche obiettare, giustamente, che quella funzione che è stata determinata col curvilineo è il risultato dell'esperienza o non esperienza dell'operatore, ovviamente. Quindi ci vogliono degli strumenti che prescindono dall'esperienza dell'operatore e sono oggettivi. Ed è la matematica, ovviamente. Allora, qui abbiamo riportato la storia in maniera più visibile di quello che è successo. Questa è la slide numero 47, chiedo scusa ancora. Qui abbiamo la storia della propagazione, mentre l'ultimo viaggio, Trecate-Viareggio è fatto da due parti: una, quella rossina, è la parte finale statica. Si è in parte rotto per... cioè, propagato per fatica e poi collassato. Allora qui abbiamo la storia. Inizio del settimo viaggio, fine del settimo viaggio, settimo... fine del settimo viaggio, inizio dell'ottavo... e così via, quello

che abbiamo visto in precedenza e che non stiamo ovviamente a ripetere. Allora, in ogni fronte della fessura la propagazione avviene in ogni punto, ovviamente, cioè non avviene... non avviene lungo una... non abbiamo a che fare con una lamiera che si propaga, abbiamo a che fare con un fronte che si sta allargando prima e poi restringendo. E quindi è chiaro che avviene in ogni punto con una propria velocità come in ogni problema di propagazione. Ora, in realtà il fronte... il piano... la fessura non è su un piano, è su una superficie convessa, e quindi di questo ne vediamo subito fra un po' le conseguenze. Allora, la velocità locale è influenzata non solo dal modo di apertura della fessura, ma anche dal complesso delle azioni esterne, cioè frenatura e relativa torsione dell'asse, forze centrifughe in curva, posizione dell'assile, del carrello nella composizione del treno, cui ho fatto cenno in precedenza, asperità della linea, urto contro gli scambi, storia della velocità, difetti dei cerchioni e così via. La storia è molto complessa. Si tratta di capire come questi fatti hanno inciso sulla storia di carico, se sono stati importanti o meno. Cercheremo di capirlo in qualche modo. Il modo più importante però è quello di apertura, cioè quello che si chiama opening, per cui è quello che si assume a riferimento, e corrisponde al fatto che la fessura si apre e si chiude in maniera alternata. Questa

si chiama flessione alternata e rotante, si chiama in gergo flessione rotante. Ora però io voglio ritornare un attimo sul fatto che finora è stato sempre trascurato, e mi sono un po' meravigliato, cioè che il problema in realtà è un problema tridimensionale, cioè la sezione collassata non è piana; la sezione infatti, come vedremo facilmente e al contrario di quanto ha detto l'ingegner D'Errico non è piana. L'ingegner D'Errico ha detto, nel verbale del 27 maggio 2015, pagine 178 e 79, dice che è piana, salvo vicino al bordo. Ma dice anche "parliamo di veramente i primi nanometri, stiamo parlando di scale che neanche al microscopio elettronico riesco ad apprezzare". Insomma, è un modo per dire che la fessura è completamente piana dalla superficie fino all'interno. Ora, cosa vuol dire questo? Allora, se l'ingegner D'Errico avesse ragione vorrebbe dire che se io taglio... ora qui guardate, guardate queste foto; siamo alla slide numero 49 e vi presento due foto: una, a sinistra, è DSC_6256 e l'altra è DSC_6239. Allora, qui queste foto rappresentano il momento in cui a Lovere, in sede di incidente probatorio, veniva ritagliata una fetta che conteneva la sezione fessurata. Allora la sega a nastro individua un piano, definisce un piano. E allora è evidente che se la fessura fosse stata piana l'intersezione di due piani è una retta, oppure è un segmento di retta. E questo è tutt'altro che un segmento

di retta. Si vede che la fessura è curva, si vede che il piano... si vede che la sezione fessurata non è piana. Qui noi abbiamo ricostruito con il CAD, con il calcolatore, la forma della fessura, ovviamente astraendo dalla zona butterata che corrisponde al collasso statico, quello finale. Abbiamo addolcito, abbiamo... (parole incomprensibili)... e abbiamo cercato di ricostruire la forma con il calcolatore, partendo dai dati che avevamo, cioè tutte le foto e tutte le misure che abbiamo potuto... che abbiamo potuto apprendere. E qui vi faccio vedere il modo con cui abbiamo ricostruito foto per foto.

AVV. MUCCIARELLI - Professore, mi scusi... mi scusi...

C.T. DIFESA FREDIANI - Siamo alla slide 51.

AVV. MUCCIARELLI - Professore, scusi, la slide che ha presentato prima era, per il verbale, la 50, vero?

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa, la slide è la numero 50, quella precedente.

AVV. MUCCIARELLI - E i due oggetti che si vedono nella parte... prego?

AVV. MAZZOLA - (voce fuori microfono)

C.T. DIFESA FREDIANI - I due oggetti sono quelli...

AVV. MUCCIARELLI - Sono l'effettivo campione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, quello lì... dunque, in sede di incidente probatorio, ma credo che lo sappiano tutti ormai, ma insomma in sede di incidente probatorio la sezione che fa parte dell'assile, che è stato fatto... è

stata tagliata in una zona, in una sezione che sta dentro nella parte dove è calettata la ruota. E' stata presa una ciambella è poi questa ciambella è stata, in sede di incidente probatorio, tagliata a fette, sulla base delle indicazioni che a quel tempo dava il professor Vangi... davano il professor Vangi e l'ingegner Licciardello...

AVV. MUCCIARELLI - Mi interessava...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...in accordo con la società Lucchini.

AVV. MUCCIARELLI - Mi interessava solo che risultasse, per il verbale, che le foto che compaiono nella diapositiva 50 sono le foto dell'oggetto, del campione...

C.T. DIFESA FREDIANI - Certamente.

AVV. MUCCIARELLI - ...dell'assile.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sono le foto dell'oggetto, sono le foto del campione. Allora, qui abbiamo... dunque, siamo alla slide numero 51, i campioni sono A1 e A5 e le foto sono tratte da Lucchini, dvd 3, il giorno 04, il 19 maggio, per laboratorio HDR senza titolo, 2, eccetera. Qui abbiamo... abbiamo cercato di riprodurre con il computer la situazione reale, che è quella che vedete. Ora qui vi faccio passare alcune foto. Sulla destra della slide numero 52 sono riportati i pezzi effettivi e sulla sinistra invece i campioni riprodotti. Le foto sono DSC_6237 e 6524. Qui è un altro pezzo, le foto sono la 6259 e la 6538, la slide è la numero 53. Come vedete abbiamo cercato di riprodurre al meglio. Ancora, DSC_6537

e 6533, e qui abbiamo l'elemento riprodotto con il computer. A parte, ripeto, lo smooth(?), ma non interessa. Quello che ci interessa è la parte opposta dalla parte di collasso, cioè la zona della rottura iniziale, del collasso iniziale. E qui abbiamo ricostruito la situazione dei campioni A1 e A4, che sono quelli interessati alla propagazione della fessura, nel quale noi misuriamo quei numeri famosi, 62, 14 e così via, lungo questa fetta, questa fetta centrale. Quello che interessa è il campione A1, che è questo, che sono quelli di maggiore interesse, ovviamente. Vediamo il campione A1, quello che è rappresentato nella figura a sinistra della slide numero 56, di cui abbiamo riprodotto qui sulla destra la sezione. Allora si vede che è importante capire questo: dunque, come si vede la sezione... c'è una riga gialla che rappresenta la superficie, l'intersezione fra il piano e la superficie di frattura. Questa riga gialla, come vedete, ha una curvatura. Ora, uno capisce che se invece di prendere la riga gialla, cioè un settore, io prendo un piano che passa per il centro, l'angolo che si forma è maggiore di questo. Si sa dalla geometria, da Euclide insomma. Quindi sappiamo che l'angolo sarà maggiore certamente di questo. Ora, l'angolo che abbiamo riprodotto è circa 10 gradi da una parte e circa una dozzina dall'altra. Ma ora riprodurre localmente, cioè nel primo tratto della

propagazione, esattamente, è molto difficile, perché si può sbagliare. Allora abbiamo fatto una cosa. Abbiamo riprodotto... abbiamo preso un piano medio, che comprende i primi due - siamo alla slide 57 - che comprende i primi due centimetri della propagazione, e abbiamo trovato qual è il valore medio su un piano. Si calcola bene, voglio dire, l'angolo, e viaggia da 12,4 gradi... da 12,4 gradi da un lato e 13,6 da quell'altro. Ora, questa è la media però. Se ci avviciniamo, se questa striscia la facessimo sempre più sottile, questo angolo aumenta. Allora io ho valutato che più o meno dovrebbe essere 14-15 gradi. Ora purtroppo questo non è fatto in sede di incidente probatorio e quindi cerchiamo di ricostruirlo al meglio che si può. Comunque l'ordine di grandezza sostanzialmente è questo. Allora questo... la cosa interessante forse non è tanto il tipo di riproduzione che abbiamo fatto, ma le conseguenze della non planarità. Ancora, ripeto, parliamo solo di... continuo a parlare di quello che dice la fisica di questo oggetto. Le conseguenze sono di due tipi, e cioè: primo, i parametri che governano i fenomeni della frattura devono essere calcolati, dovrebbero essere calcolati per la superficie effettiva, cioè per la superficie curva; quindi l'assunzione della planarità della sezione fessurata, cioè l'assunzione che la sezione è piana è un errore concettuale, non è vero, la sezione non è piana. Se poi

questo porta a un errore grande o piccolo è un'altra questione che è difficile anche capire, ma concettualmente non è vero, quindi dovrebbe essere assunta nelle ipotesi, cioè ipotesi supponiamo che sia piana. Ma non è stato detto. La sezione non è piana. Secondo, però - e questo è più importante - in letteratura non esistono, non esistono, almeno io non ne ho trovati, studi che riguardino la propagazione per fatica su superfici come quella in esame. Cioè sulle superfici piane in letteratura non c'è nulla che io abbia trovato. E tutto quello che viene detto, assunzione di... fattore intensità di curve e così via, si riferisce a casi di piani, ma non a questo.

AVV. MAZZOLA - Scusi...

C.T. DIFESA FREDIANI - Ma c'è una seconda... prego.

AVV. MAZZOLA - Scusi professore, si è imbrigliato. Non esistono in letteratura studi di propagazione per fatica su superfici come quella in esame, che non è piana.

C.T. DIFESA FREDIANI - Che non è piana. In particolare su questo, ovviamente, perché superfici... questa è una particolare superficie non piana, quindi io dovrei fare i conti su questa, non su altre che pure fossero non piane, perché il metodo scientifico ci racconta che dobbiamo prendere in esame quello che è successo in questo caso. Tutto il resto non... conta, ovviamente con degli errori, che vanno dichiarati però. Assumo che c'è

un'approssimazione e mi aspetto che ci sia un errore. Questo è il punto, è il modo con cui si deve ragionare. Ma c'è un'altra conseguenza molto... secondo me molto più importante, e cioè che riguarda il problema degli ultrasuoni. Ora, io non mi sono occupato degli ultrasuoni e non ne parlo, però io faccio un'osservazione, una semplice osservazione, secondo la quale quello che è stato fatto sugli ultrasuoni, sulla *probability of detection*, di cui si riparlerà penso, è una storia che non sta in piedi, ma non sta in piedi per nulla, cioè è una roba che è stata fatta con assoluta rozzezza dal punto di vista concettuale, e vi spiego perché. Allora, immaginate che ci sia un emettitore che manda onde elettromagnetiche su un difetto, in particolare un emettitore a 45 gradi, che è quello che serve dal fusello per vedere quanto è grande la fessura, e sul quale è stato tarato... è stato tarato lo strumento. Gli strumenti vengono tarati con un intaglio che viene ortogonale al piano del... cioè, scusate, ortogonale all'asse dell'assile, come in figura. Allora, se io emetto a 45 gradi delle onde, queste riflettono alla stessa maniera di uno specchio a 90 gradi e quindi la quantità di onde che viene recepita dal ricevitore, che è anche emettitore e ricevitore insieme, viene fatta sulla base di questa taratura. Cioè, io parlo della slide numero 60. Allora voglio dire che quando io faccio una

taratura, mettendo un difetto artificiale, e lo faccio ortogonalmente all'asse dell'assile, quello è il riferimento con cui poi dovrei trovare, dovrei verificare tutte le fessure che sono ortogonali all'asse dell'assile, non strane, perché allora il gioco non torna più, è questo che voglio dire. Allora, se questo emette a 45 gradi, la riflessione ritorna a 45 gradi, cioè ritorna sull'emettitore e la quantità di onde emesse e ricevute sostanzialmente è molto alta. Cioè, la percentuale di ricezione è molto alta rispetto a quella di emissione. E' su questo concetto che si basa la taratura di questi strumenti, non su altro. Ovviamente sul fatto di regolare schermi, dare una scala, ma il concetto è questo. Ora, se questo è, vediamo le conseguenze. Ora, immaginate che questo sia lo specchietto retrovisore di una macchina e io c'ho i fari che mi illuminano e mi vanno... e mi riflette la luce negli occhi. Cosa faccio? Prendo il retrovisore, lo specchio retrovisore, lo giro un angolo piccolissimo e dai miei occhi sparisce tutto. Ci sono dei retrovisori che hanno uno scatto, una mollettina che cambia l'angolo di riflessione di pochissimi gradi, pochissimo, eppure sparisce tutto. E' come se qui mettendo la fessura inclinata sparisse tutto. La quantità di ricezione, appena perso(?) un grado di 15 gradi, è zero, questa roba non vede niente, per cui io traggo la conclusione, sulla base di queste sole osservazioni, che

le tarature fatte con il POD, diciamo con il difetto ortogonale all'asse, sono assolutamente inutili, nel caso in esame ovviamente, servono solo quando le fessure sono ortogonali all'asse, ma quando sono inclinate non vedo niente. E la mia impressione è che aumentando la lunghezza della fessura sia lo stesso, anzi peggio, cioè in altre parole sia assolutamente cieco, nel caso in esame. Questa è la mia considerazione. Adesso ritorniamo a descrivere il fenomeno della fessura. Vediamo, diciamo, una logica un po' diversa, più diciamo di razionalità, per giustificare il fatto che noi stiamo considerando una fessura che sta propagando lungo un asse, quindi abbiamo dato una lunghezza, non un fronte. Il processo logico è questo: per descrivere la propagazione come un fenomeno monodimensionale, cioè come fosse una lamiera, che viene... con una fessura che sta propagando, noi consideriamo una strisciolina, che è quella qui segnata nella slide numero 61. Ora, queste frecce indicano che, ripeto, la fessura cresce intorno nel modo che cresce ed è influenzata ovviamente dal fatto che la ruota gira. Infatti, non so, prendiamo in riferimento una fessura, questa che vi segno col mouse. Per esempio questo è l'inizio della fessura numero 9. L'inizio della cricca è questo, la fine è questa. Quindi vuol dire che in ogni punto del fronte la fessura si è allargata con una propria legge, la quale è stata molto influenzata dal

fatto che c'è una flessione rotante, e questo ovviamente è noto, è stato detto più volte. Ma nella zona centrale io è come se considerassi quello che avviene in un istante. Cioè, in ogni giro io considero un istante in cui la fessura iniziale si trova in alto, oppure si trova in basso. In quel caso il carico agisce... la gravità agisce in direzione verticale nella figura, agisce come se fosse una flessione alternata. Ovviamente non posso scordarmi come è fatta la fessura. Io sto considerando una lamina qui intorno, ma la lamina qui intorno fa parte di una fessura che ha una propria forma. Io ovviamente non dimentico. Il professor Bertini infatti ha preso delle forme, il professor Boniardi lo stesso, hanno assunto delle forme dalla fessura, e così facciamo anche noi ovviamente. Ma il riferimento, come abbiamo... come hanno fatto tutti, è quello della zona centrale, cioè sto considerando una striscia centrale. In questo caso è lecito. Perché è lecito? Perché la lunghezza di fessura, la fessura iniziale, non era un oggetto lungo mezzo metro; era un pezzetto che alla fine stava in una zona che può essere inquadrata in questa striscia. E quindi è chiaro che quello che è successo a partire... la propagazione che è iniziata da questo punto ed è propagata posso vederla ogni volta quando la ruota è in alto... è in alto o in basso la fessura, cioè ha la cricca in alto o in basso. In quel caso abbiamo la

flessione alternata. Le frecce rosse che ho indicato qua indicano diciamo il senso della propagazione della cricca e stanno a indicare che la cricca cresce sempre più velocemente mano mano che la fessura cresce, ovviamente. Allora, ritorniamo a questo fatto. Quindi in questa figura, che è la slide numero 62, abbiamo riprodotto nel centro la striscia di cui ci siamo occupati, che è quella a cui facciamo riferimento. Se osservate bene, se voi guardate per ogni cricca, per ogni fronte di fessura, il lato sinistro della striscia e il lato destro, praticamente le fessure sono... hanno la stessa lunghezza. Il che vuol dire che posso descrivere questo fenomeno come fenomeno bidimensionale, cioè come se la fessura avvenisse in un piano, cioè avvenisse nel piano... cioè, in un solido, in una lamiera diciamo, in una... per capirci, in una lamiera larga quanto è larga questa figura, e il fronte avanzasse d0ella stessa quantità sul bordo sinistro, sulla faccia sinistra e sulla faccia destra. Quindi avanza diciamo con entità costante lungo il fronte. Questo a partire dal settimo viaggio fino al dodicesimo viaggio. Ora però in questa figura voi vedete anche altre cose, cioè vedete una serie di puntini, questi punti. Questi punti rappresentano...

AVV. MAZZOLA - Professore, questi punti, per il verbale, se li illustriamo. Questi punti se possiamo per il verbale descriverli, in maniera...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sono chiaramente visibili. Cioè ogni... in ogni fronte di fessura avete dei punti, che vi sto indicando con il mouse. Avete molti punti, come vedete. Ora, questi punti sono quelli nei quali noi abbiamo calcolato il parametro che definisce la velocità di propagazione, cioè la *crack driving force*, diciamo il fattore di intensità degli sforzi, per capirci. L'abbiamo fatto punto per punto lungo il fronte e lo abbiamo fatto nella fessura nella sua forma effettiva, cioè quella che abbiamo visto prima con il computer, che abbiamo ricostruito. Non è piana la nostra fessura e i fronti sono quelli effettivi, effettivi cioè misurati, cioè definiti da Lovere in sede di incidente probatorio, su una superficie che non è piana, che è quella effettiva. Ora ripartiamo dalla figura precedente, quella a colori che abbiamo visto in precedenza, cioè questa qua. No, abbiamo sbagliato, è quella successiva, scusate. Quella successiva è questa. Ritorniamo... ecco, noi ripartiremo da questa fessura qua, cioè da questa in cui abbiamo il settimo fino al dodicesimo viaggio. Allora, conosciamo in maniera esatta, avendola letta direttamente sulla sezione fessurata, la lunghezza di fessura, lo abbiamo visto prima, ed è questa. La lunghezza di fessura è sull'asse delle ordinate. E poi conosciamo per ogni viaggio il numero dei cicli: 308.000. E quindi abbiamo il grafico che voi vedete qua, dove ho riprodotto insieme al settimo

e al dodicesimo viaggio nella slide numero 64. Allora, come dicevo prima, ritorniamo al discorso...

AVV. MUCCIARELLI - Professore, professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - Prego.

AVV. MUCCIARELLI - Mi scusi, tornando alla slide precedente, sempre per la mia chiarezza, i dati che sono rappresentati, cioè i punti da 14.2, 21.3 e seguenti e le curve e linee che si trovano nella parte alta a sinistra, sono - come dire - la rilevazione di dati reali.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MUCCIARELLI - Quelli che avete visto voi, Bertini, Ghidini, sull'assile.

C.T. DIFESA FREDIANI - A parte i decimi di millimetro, che fa parte ovviamente (sovrapposizione di voci)...

AVV. MUCCIARELLI - Sì, d'accordo, va bene.

C.T. DIFESA FREDIANI - ...sono esattamente quelli, sì.

AVV. MUCCIARELLI - Sono comunque quelli, ecco, non sono... grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Infatti ho riportato, insieme al grafico dei punti sperimentali, reali, anche la sezione fessurata con le linee di marcatura per far vedere che questa linea centrale interseca i fronti in corrispondenza di 14, 24 e 62,4. Ecco, questi sono i dati di cui stiamo parlando, giustamente. Allora, siamo alla slide numero 65. Torniamo al problema che ci siamo posti, cioè come possiamo interpolare i dati sperimentali per

mezzo di procedure matematiche che non facciano riferimento ovviamente alla capacità o non capacità dell'operatore e di quello che fa... di quello che fa la linea, ovviamente. Ora, questo lo facciamo in due modi, perché alla fine è sempre meglio, è corretto avere due valutazioni diverse, per avere la possibilità di capire errori eventuali. Il primo modo è quello di creare un algoritmo matematico di interpolazione dei dati, che è tipico dei fenomeni di fatica, di interpolazione dei dati. Noi abbiamo nel mio laboratorio molta esperienza in questo, perché abbiamo condotto centinaia di esperimenti di propagazione in vario modo e in vari campi, e quindi abbiamo dei software che ci permettono... vari tipi di software che ci permettono di fare interpolazioni tipiche di fenomeni o di fatica, o di propagazione, o in questo caso di pochi dati, e quindi sono software semplici, di ottimizzazione, si cambia (parola incomprensibile). E poi usare invece un altro algoritmo che non dipende da noi e che dipende invece da... sono sistemi di interpolazione standard, quelli che si trovano in letteratura e che l'esperienza ha dimostrato essere affidabili da decenni di applicazione. Quindi sono quelli che si trovano in letteratura e che comunque persona può utilizzare. Però nella slide successiva, che è la numero... non la vedo... qui la prima era... 66, ecco. Nella slide numero 66 riportiamo la previsione sulla profondità iniziale con un

codice di best fit che interpola i dati dal dodicesimo fino al settimo. Qui, ripeto, non ci ho messo l'ultimo viaggio perché è anomalo e comunque quello non cambia nulla, ripeto, sulla legge di propagazione. Anzi, rafforzerebbe questo qui, tutto sommato è anche in linea con quei dati. Ma teoricamente e metodologicamente non è corretto e quindi non l'abbiamo messo. Allora, sulla profondità...

(più voci fuori microfono)

C.T. DIFESA FREDIANI - Ah no, chiedo scusa... forse è una domanda... Ecco, questo è diciamo un primo tipo di interpolazione con il quale otteniamo una certa lunghezza iniziale in corrispondenza dei cicli $N=0$. Poi il secondo metodo è quello che si chiama metodo... modello gaussiano, che è un procedimento matematico standard. Questo procedimento ha degli indici sulla qualità dell'interpolazione. Vedete, 0,9969 vuol dire che è molto affidabile il tipo di interpolazione che viene condotto. Qui viene riportata la legge matematica che viene definita da questo algoritmo. E questo porta ad una lunghezza iniziale che è più o meno la stessa di quella precedente, almeno a occhio.

AVV. MAZZOLA - Cioè?

C.T. DIFESA FREDIANI - E cioè intorno o minore di 2 millimetri. Voi la vedete qua sulla scala, uno può apprezzarla. Allora, a questo punto mettiamole insieme

quella precedente e questa qua. Ecco, qui abbiamo riprodotto insieme il modello gaussiano e il modello Frediani-Binante, ma insomma diciamo è un software molto semplice. E quello dà delle indicazioni un po' diverse, ma la lunghezza iniziale, come vedete, sostanzialmente è la stessa. Allora, io traggio da qui una seconda conclusione, nella slide numero 69: cioè, che due metodi matematici, del tutto diversi fra loro, che interpolano i dati... gli stessi dati sperimentali, indicano che la profondità della fessura iniziale è esattamente la stessa.

AVV. MAZZOLA - Ci vuole... ci vuole ripetere per il verbale? E' sempre la stessa, cioè?

C.T. DIFESA FREDIANI - Che è esattamente la stessa, pari a meno di 2 millimetri di profondità.

AVV. MAZZOLA - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa. Non sono abituato ai verbali, ecco, questo... ditemelo. Ora...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Sempre che ce la faccia, sempre che ce la faccia, perché non vogliamo...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì.

PRESIDENTE - Non è una tortura questa, quindi...

C.T. DIFESA FREDIANI - Per ora. Ho problemi di voce, perciò c'ho l'acqua, mi arrangio.

C.T. DIFESA BINANTE - Scusate, io avrei un'esigenza

fisiologica (voce fuori microfono)...

PRESIDENTE - Non ha fatto niente. Prego, vada. Siamo verso...
sulla prima parte a che punto siamo?

AVV. MUCCIARELLI - Quasi finito.

PRESIDENTE - Quasi finito. Sì, però concludiamo e poi facciamo
una breve pausa.

AVV. MUCCIARELLI - (voce fuori microfono)

PRESIDENTE - Sì, così sospendiamo. Ecco, dicevo, allora
Avvocato Valignani... Avvocato Francini, scusi Avvocato
Francini, abbiamo indicato lei come sostituto
dell'Avvocato Valignani, va bene?

AVV. FRANCINI - (voce fuori microfono)

PRESIDENTE - Sì, l'Avvocato Tori arriva per l'Avvocato Giorgi.
(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Possiamo...

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso continuare?

PRESIDENTE - Sì, sia pure da solo, volentieri.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, la slide numero 70. Nella slide
numero 70 espongo questo concetto, cioè ora c'è un'altra
fase della mia esposizione nella quale, sulla base delle
deduzioni che ho fatto sulla base... fondate sui dati
reali della propagazione, prendo in esame alcune
valutazioni che sono state fatte da altri ricercatori, da
altri esperti, sull'ipotesi e sulla lunghezza... sulla
profondità, scusate, della fessura iniziale. Però non lo
faccio sulla base di trattazioni teoriche, lo faccio

sulla base di... su quello che abbiamo osservato, sulla fisica e basta, e rimanderò... quindi alcune... alcuni approfondimenti verranno fatti qui senza... senza prendere in esame diciamo algoritmi o modelli teorici, sulla base semplicemente di fatti fisici. Gli stessi ricercatori, gli stessi esperti... analizzerò le loro conclusioni da un altro punto di vista, almeno di quelli che hanno fatto dei calcoli. Perché fra i vari esperti non tutti hanno fatto i calcoli; hanno dato le conclusioni senza esporre i calcoli. Io qui sono... non posso ovviamente interloquire con loro nella parte terza, in cui parliamo di modelli, ovviamente.

(più voci fuori microfono)

C.T. DIFESA FREDIANI - Grazie, grazie. Allora, ora mi rivolgo ad una cosa che riguarda diciamo il buon senso, no? E' una cosa semplice. Allora, supponiamo... potremmo anche... potremmo anche dire che... è facile poter dire, dice: va beh, il prolungamento della legge è sui cinque viaggi, l'hai fatto su altri sette iniziali, è troppo. Allora, accontentiamoci di meno e ragioniamo sulla base del buon senso, cioè supponiamo di tornare indietro di tre viaggi soli. Tre viaggi soli vuol dire che con la legge che ho detto in precedenza, il cui teorema vi ho dimostrato, che mi racconta che la fessura deve decrescere con continuità, io prendo quella legge e la faccio decrescere con continuità, ma non fino in fondo,

per tre viaggi soltanto. Allora, questi tre viaggi conducono ad una valutazione della lunghezza dopo i primi quattro di 5,16, circa 5,2 millimetri. Allora, qui ho riportato tutte... almeno le principali valutazioni che sono state fatte dai miei colleghi esperti in sede di questo processo.

AVV. MAZZOLA - Professore, intanto la slide è la 71.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' la slide numero 71.

AVV. MAZZOLA - Sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa.

AVV. MAZZOLA - E poi se ci dice bene come riporta le misure del... sono le linee rosse?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, ora ci arrivo. Sì, sì. Allora, qui è riportata una tabella in cui ci sono autori, il professor Bertini, una perizia da parte del Politecnico di Milano, consulenti tecnici del Politecnico di Milano, il professor Boniardi, i professori Vangi e Licciardello e il professor Toni. Allora, io ricordo... qui c'è il mio amico Paolo Toni, quindi ci capiamo. Allora, il professor Toni in sede di dibattimento ha detto che concorda in tutto quello che ha detto il professor Bertini, salvo il fatto che per lui la fessura era profonda 20 millimetri. Ora io, chiedo scusa Paolo, ma devo contraddirlo in maniera palese, perché altrimenti vorrebbe dire che la fessura torna indietro, cioè vorrebbe dire che torna indietro, ma non solo con i dati che ho preso io, terzo

viaggio, ma tornerebbe indietro per sette... cioè, vorrebbe dire... il professor Toni vorrebbe dire che la fessura era profonda 20 millimetri, però nei primi sette viaggi si è risaldata di 6 millimetri, cioè è andata a 14. E questo è palesemente falso, non è possibile. Quindi non può essere 20 millimetri. Poi in sede di incidente probatorio la perizia del professor Vangi e dell'ingegner Licciardello hanno affermato che per loro la lunghezza variava, ma era probabilmente 15 millimetri. Anche loro hanno fatto un errore, dico un errore perché c'è un teorema che me lo dice che è un errore. Hanno fatto un errore perché secondo loro la fessura si risalderebbe di 6/10, 8/10, quasi 1 millimetro, in sette viaggi, cioè il treno cammina, la fessura invece di crescere si salda. Questa è diciamo la conclusione che viene fuori da quel documento dell'incidente probatorio. Poi ci ritorno un attimo.

AVV. MUCCIARELLI - Scusi professore, perdoni, rispetto al grafico le linee rosse, diciamo così, parallele, sono quelle su cui... che marcano i valori indicati dai vari consulenti...

C.T. DIFESA FREDIANI - Perfetto.

AVV. MUCCIARELLI - ...che lei sta ora rappresentando.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, ho intersecato diciamo la valutazione sull'asse delle ordinate e le ho intersecate per portarle sulla curva, e quindi la deduzione è questa,

certamente. Siamo alla slide numero 71 ancora. Poi ci sono state le valutazioni che sono tutte abbastanza congruenti, del Politecnico di Milano, 11, 12.5, Boniardi 11... 11.15. Anche la valutazione del professor Boniardi evidentemente è sbagliata. Ma torniamo alle valutazioni del professor Vangi. Il professor Vangi ha fatto una relazione, che un po' credo è alla base del processo, secondo la quale questa fessura era 15 millimetri, e lo fatto, vi farò vedere, in tre pagine, di cui parlerò. I dati intermedi, 11 e 15, sono... io ho riportato qui quelli che hanno a corredo delle calcolazioni, o almeno hanno indicato dei metodi di calcolo, hanno detto che hanno fatto calcoli; non ho riportato quelli che si sono adeguati, che hanno detto, hanno affermato la fessura essere in questo tratto, ma senza aver fatto calcoli, assimilandosi alle idee di altri ricercatori. Ma torniamo al fatto, questo. Il professor Bertini ha detto che con l'affidabilità del 90 per cento la sua fessura, la sua valutazione era 13 millimetri circa, con l'affidabilità del 50 per cento dei dati sulle curve (parola incomprensibile) fatte a Lovere. Poi ci torneremo sopra. E con il 95 per cento di affidabilità che era 10 millimetri. Ora, se io faccio tre viaggi, prolungo di tre viaggi, evidentemente la fessura è 5,16, quindi non torna. Ma il professor Bertini però in sede di controesame, o esame, boh... insomma, qui in questo

processo, in controesame... non mi ricordo più...

PRESIDENTE - Non si sbilanci.

C.T. DIFESA FREDIANI - Eh, va beh. Dunque, alla fine il concetto è questo: ha preso in esame la possibilità... cioè, ha messo in conto un incremento del 20 per cento dovuto al carico di compressione. Non era in esame, era dopo. E quindi con questa valutazione arrivava a una lunghezza iniziale di 8,2 millimetri, smarcandosi molto dalle valutazioni precedenti. Allora, 8,2 millimetri è segnata qua, è la riga più in basso. Allora, per arrivare a 8,2 millimetri, se prolungo la curva precedente non ho bisogno nemmeno di tre viaggi, mi bastano due prima del settimo. Mi bastano due viaggi per avere una lunghezza minore di 8 millimetri. Quindi vedete che basta probabilmente un viaggio per dire che tutte le valutazioni sono tutte in eccesso e non c'è bisogno niente di fare un calcolo per trovare questa conclusione, a mio parere, questa è la mia conclusione. Poi ci sono le altre valutazioni, ripeto, del Politecnico di Milano, per conto delle Ferrovie mi sembra, il professor Boniardi. Ecco, con loro ritorneremo un attimo, anche in questa prima fase, a parlare di queste valutazioni, non del Politecnico di Milano, ma del professor Boniardi sì. Allora, andiamo avanti e tiriamo le conclusioni, alcune conclusioni, e cioè la terza. Cioè, pur trascurando la propagazione intervenuta nei primi quattro viaggi, la

profondità iniziale, cioè 5 virgola spiccioli millimetri, sarebbe comunque inferiore a tutte le previsioni formulate in precedenza, cioè le righe rosse nella figura precedente. Noi siamo nella slide numero 72. Ma lo stesso vale anche trascurando i primi cinque viaggi, cioè estrapolando indietro di soli due viaggi, poiché la fessura sarebbe profonda meno di 8 millimetri. Quindi tutte le previsioni formulate sulla profondità iniziale sarebbero valide solo presupponendo che i lembi della fessura durante questi viaggi iniziali, almeno per alcuni di essi, si stiano saldando, e ciò è impossibile. Allora, ritorno un attimo sulla perizia del professor Vangi e dell'ingegner Licciardello, nella slide numero 73. Io riporto il frontespizio di questa perizia, che è datata "Lucca, 20 ottobre 2011", se non sbaglio. S secondo i periti la profondità era lunga... quindi era profonda 15 millimetri. Allora, lo studio del fenomeno della propagazione in questa perizia viene trattato da pagina 80, da metà di pagina 80 alla fine di pagina 83, in totale sono 3,5, tre pagine e mezza, comprese le premesse e le conclusioni. In sede di incidente probatorio io stesso ho chiesto - siamo alla slide numero 74 - ho chiesto ai due periti di poter visionare i calcoli. A quel tempo non avevo chiaro nemmeno io cosa fosse successo e quindi chiesi "per favore, mi dite che calcoli avete fatto"? E gli ho chiesto i calcoli che hanno loro

consentito di determinare la profondità della fessura. In risposta prima mi hanno risposto che erano fatti a mano su fogli di carta. Poi quando ho detto "va beh, fatemi vedere i fogli di carta", mi hanno detto che li hanno cestinati. Ecco, questa è la situazione oggettiva in cui è stato trattato un fenomeno e un incidente fra i più gravi della storia delle ferrovie che sono intervenuti in questo Paese. E' stato trattato con tre pagine, quelle che hanno analizzato questo, comprese premesse e conclusioni, e con fogli di carta gettati nel cestino. Questa è la situazione che ho trovato. Allora, vediamo adesso... ancora ritorno alla relazione del professor Toni. L'appendice è a cura del professor Bertini. Il professor Bertini ha riportato questa figura. Noi abbiamo aggiunto in rosso le indicazioni dei viaggi. Siamo alla slide numero 75.

PRESIDENTE - Bisogna sospendere? Due secondi per la registrazione.

(più voci fuori microfono)

AVV. MAZZOLA - Presidente, c'è anche un problema di inquadratura della slide, perché c'è un problema col proiettore. Senza interrompere, poi abbiamo già avvisato che... vediamo se si riesce a ricentrare la slide.

PRESIDENTE - Si può ripartire.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, io ho riportato la slide, che è una slide del professor Bertini, cioè, o meglio, una

figura che appare nell'appendice 0 della sua relazione, in cui il professor Bertini giustamente indica dei punti che chiama "punti sperimentali". Lui giustamente aveva individuato nelle marcature i punti sperimentali della cricca, infatti li ha posizionati con un numero di cicli a intervallo costante fra uno e l'altro. In questo senso è stato estremamente acuto, insieme al professor Ghidini... all'ingegner Ghidini. Allora, questa è tratta dall'appendice... come ripeto, dall'appendice 0 a cura del professor Bertini, con affidabilità del 50 per cento. Ora, qui ho riportato i punti che il professor Bertini ha segnato. Lui ha segnato il nono, decimo, undicesimo, dodicesimo e tredicesimo viaggio, come dire che lui è partito dal nono viaggio, dal nono viaggio in poi. Cioè, lui ha trascurato il fatto che questa... sull'assile compare, compaiono anche una grande... cioè, una non trascurabile estensione della cricca fino al nono viaggio, perché quello che è visibile al settimo viaggio, alla fine del settimo viaggio, che è questa, che rappresenta diciamo quella forma ellittica che si trova qui davanti, fino al nono viaggio l'ha trascurata, come non esistessero. E poi ha tracciato la sua previsione e l'ha confrontata con i dati reali, sperimentali, come dice giustamente Leonardo Bertini. Allora, vediamo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi - Avvocato Ruggeri per il verbale - giusto perché l'immagine è molto chiara,

però forse ha bisogno di una parola di spiegazione in più. Sulla... ci può confermare che sulla sinistra dell'immagine il grafico è quello, come ci ha detto, tratto dalla relazione del professor Bertini, e i punti sono i punti individuati dal professor Bertini e lei si è limitato ad aggiungere a quale viaggio corrispondono?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ci può confermare questa circostanza?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Il grafico che vediamo nella parte destra della diapositiva, per il verbale, ci può confermare che si tratta dei fronti reali mappati dal professor... dall'ingegner Ghidini in sede di incidente probatorio? Ce lo può confermare?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sono quelli.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E vorrei chiederle: il nono viaggio quindi è quello marcato da una freccia con scritto "nono viaggio" nell'immagine sulla destra della diapositiva numero 75?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, abbiamo messo la figura sulla destra apposta per individuare la posizione del nono viaggio, certo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi lei ci sta dicendo che il professor Bertini ha considerato solo la parte di propagazione inferiore a questo fronte, nell'immagine solo la parte di propagazione sotto a quello e ha

ignorato la parte di propagazione sopra a quel fronte indicato con la dicitura "nono viaggio"? Ce lo conferma?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Eventualmente è partito dal nono viaggio in poi e non ha inserito le due marcature precedenti al nono viaggio. Ovviamente poi... questi punti sono quelli... ora, io non lo so, sulla figura è molto piccola, i decimi di millimetro, ripeto, è molto... è qualitativa... insomma, i punti sperimentali sono quelli. E li chiama sperimentali perché effettivamente sono i punti reali. Ecco. Ora però nella figura del professor Bertini mancano due punti, che sono relativi ad altrettante marcature individuate in sede di incidente probatorio. Cioè, il professore... l'ingegner Ghidini ha detto: le marcature sono queste. E compaiono anche quelle da 14,2 e 21,3 di profondità, almeno misurate nella zona centrale. Allora, le relazioni che io ho letto da parte della Lucchini non giustificano in alcun modo la omissione di questi due punti, non c'è nessun motivo per cui questi punti, secondo la mia opinione ma anche secondo l'ingegner Ghidini, possano essere omessi. Questi punti che loro hanno scritto, cioè tutte le marcature hanno la stessa qualità, la stessa affidabilità di quelle... di quelle che sono state riportate dal professor Bertini, non c'è nessuna differenza.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, per il verbale, perché forse ha detto il contrario...

C.T. DIFESA FREDIANI - Almeno...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi secondo lei e secondo Ghidini questi punti non possono essere omessi.

C.T. DIFESA FREDIANI - Secondo me questi punti non possono essere omessi.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Non vedo motivi perché... e non è stata posta nemmeno alcuna giustificazione, almeno che io ricordi, del fatto che siano omessi. A meno che forse, non so, abbia ritenuto che erano meno affidabili di altri. Può darsi che sia una valutazione di Leonardo Bertini, ma non ho trovato nella relazione del professor Ghidini... dell'ingegner Ghidini qualcosa che dica che questi non vanno bene. Ecco, questo... tutto qua. Allora a questo punto mettiamo i due viaggi, mettiamo i due punti aggiuntivi. E siamo nella slide numero 77. Allora, cosa succede? Succede che i punti sperimentali vanno sotto la sua curva, ma vanno sotto la sua curva non molto vicino all'origine della cricca, ma vanno vicino sotto la sua curva, in corrispondenza del settimo viaggio. E dovremmo ammettere che prolungando questi punti, passare da questo punto effettivo, cioè il settimo viaggio, alla curva del professor Bertini, dovrei ammettere ancora una volta che la fessura si sta chiudendo, si sta saldando, perché lui ammette dei valori della lunghezza di fessura che sono maggiori di quelli sperimentali, e quindi questo

non può avvenire. Ora, può darsi che questo avvenga su un solo punto, ma è chiaro che se io prolungo una legge non è che vale un punto e possa ritornare indietro; questo prolungamento vale con una certa entità, almeno un viaggio in avanti. E si capisce che la fessura... la fessura non può essere... i dati sperimentali non possono essere in accordo con quelli che ha formulato Leonardo Bertini, ovviamente. Allora, facciamo una cosa. Rimettiamo insieme le due curve. Quella è la previsione che abbiamo fatto noi sulla base del curvilineo, del metodo di Gauss, del metodo dei minimi quadrati e così via, con quella che mostra l'ingegner Bertini. E ovviamente, diciamo, le valutazioni sono diverse. Questo è il confronto che si può apprezzare.

AVV. MAZZOLA - Ci può dire per favore - scusi professore - il numero della slide e poi se ci può colorare le...

C.T. DIFESA FREDIANI - La slide è il numero 78, chiedo scusa ancora.

AVV. MAZZOLA - E la linea vostra è la linea blu e l'altra linea è la linea nera?

C.T. DIFESA FREDIANI - La linea rossa è quella relativa alla nostra... una... la linea blu è quella relativa ad una delle nostre... una media delle nostre valutazioni numeriche, curvilineo insomma, tanto coincidono più o meno. E la linea scura, insomma quella originale, è quella del professor Bertini. Quei due fronti rossi

rappresentano i due fronti aggiuntivi che noi abbiamo inserito.

AVV. MAZZOLA - Quindi questo a dire che mentre la linea blu vostra passa attraverso tutti i punti sperimentali...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MAZZOLA - ...la linea nera invece non...

C.T. DIFESA FREDIANI - Li interpola nel senso dei minimi quadrati.

AVV. MAZZOLA - Sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - Cioè minimizzando l'errore medio.

PRESIDENTE - Come da legenda (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - Cioè, definisce un andamento...

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

C.T. DIFESA FREDIANI - ...definisce un andamento, una storia che è tutta diversa da quella che ha indicato il professor Bertini. Ovvero, allora, è evidente che i punti sperimentali sono disposti con una legge che non si accorda con la previsione presente nella relazione del professor Toni, appendice O del professor Bertini. In particolare cosa si vede? Si vede che i due andamenti, cioè la linea blu e la linea scura del professor Bertini, si incrociano a circa due milioni e mezzo di cicli, cioè intorno alla fine del settimo viaggio e la lunghezza effettiva è dunque minore di quella prevista nella relazione sopracitata, cioè quella del professor Toni. A questo punto, allora, finora abbiamo ragionato sulla base

di una curva che rappresenta sulle ordinate il numero... la lunghezza di fessura e in ascisse il numero dei cicli. Questa curva può apparire anche, diciamo, non fisicamente rappresentativa. Allora la cosa migliore adesso è di vedere quelle considerazioni riportate sulla sezione fessurata, cioè vederle sulla faccia. Vediamo un po', ecco. Questa è la slide numero 80. Questa slide non dice molto, se non il fatto che tutti i sette viaggi... dunque, i primi sette viaggi sono dentro... sono racchiusi dentro la zona grigia in alto. Qui infatti partiamo dalla... è la fine del settimo viaggio e comincia l'ottavo viaggio. E quindi quello è il campo in cui si sono consumati i primi sette viaggi e che hanno prodotto un danneggiamento al più che è questo qua. Non è nota ovviamente la lunghezza iniziale. Qui le ipotesi sono diverse e vedremo che conseguenze hanno. Mentre i cinque viaggi restanti hanno prodotto il collasso del treno... il collasso dell'assile, da questo punto fino al collasso finale. Cinque viaggi, ripeto, sono cinque giorni di treno, più o meno. Adesso il professor Bertini ha valutato la lunghezza iniziale con il 50 per cento di affidabilità, ha valutato la profondità iniziale, scusate, di circa 13 millimetri, a parte i centesimi che non è un granché. Allora, vuol dire... il professor Bertini sta dicendo questo: la fessura iniziale... siamo alla slide numero 81... la lunghezza iniziale della

fessura era quella che corrisponde alla linea, al bordo superiore della striscia arancione. In questa striscia arancione si sono consumati sette viaggi, quindi dobbiamo vedere all'interno della riga arancione sette marcature, sette linee che rappresentano come si sono evoluti questi viaggi. Quindi ogni viaggio ha prodotto un avanzamento di circa $1/7$ di questa altezza qua. Ora è difficile... quindi siamo all'interno di un millimetro, no? Da 13 a 14,2, 1,2 millimetri. Dobbiamo pensare che ogni viaggio ha fatto un decimo, due decimi, al più tre decimi di millimetro per suddividere in sette viaggi una lunghezza totale di 1,2. Siamo ai decimi di millimetro. Quindi dovremmo pensare, senza fare conti, ma sul piano puramente metodologico e sul piano fisico, che dell'ultimo... del settimo viaggio, in cui è avanzata diciamo tre decimi, quando comincia l'ottavo viaggio avanza di centinaia di millimetri quadrati. Prima ha prodotto un danneggiamento di pochi millimetri quadrati, una strisciolina di qualche decimo per una lunghezza della striscia, quindi sono pochi millimetri quadrati, e poi improvvisamente in corrispondenza dell'ottavo viaggio ha cominciato a partire con una velocità tale che in un viaggio ha prodotto questa zona fessurata. Questa zona fessurata è circa 800 millimetri quadrati, quindi si passa da pochi improvvisamente a 800. Questi fenomeni non avvengono in questa maniera. Questi fenomeni non fanno i

salti, non avvengono in maniera improvvisa, non ci sono discontinuità. Questi fenomeni avvengono in maniera continua. Quindi questa ipotesi cozza contro diciamo l'evidenza fisica che non può esistere una propagazione di pochi decimi che improvvisamente nel viaggio dopo diventa centinaia di millimetri quadrati. Questa è la mia prima conclusione. Però il professor Bertini ha fatto altre valutazioni. Una è quella con probabilità 95 per cento di probabilità, che lo porta ad avere una profondità iniziale di 10,2. E dobbiamo pensare allora che i primi sette viaggi si sono svolti in questa strisciolina e ancora una volta invece di 3/10 di millimetro avremo 4/10, 5/10, ma il concetto è sempre lo stesso.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, per il verbale ci conferma che siamo alla diapositiva numero 82?

C.T. DIFESA FREDIANI - E' la slide numero 82.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E che secondo l'ipotesi del professor Bertini che lei sta illustrando i primi sette viaggi si sarebbero compiuti nell'area che lei ha marcato in grigio nella diapositiva?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì, esattamente. Allora, ripeto, la slide è la numero 82...

PRESIDENTE - No, l'ha già detto, professore.

C.T. DIFESA FREDIANI - ...e i fenomeni sono quelli.

PRESIDENTE - L'ha già detto, professore.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ah, l'ho già detto? Sì, però pensavo...
va bene, chiedo scusa. Ecco, questa invece è la valutazione del professor Bertini, tenendo conto di una percentuale del 20 per cento del carico di compressione. Siamo alla slide numero 83 e qui abbiamo rappresentato in alto una striscia di colore grigio, in cui il limite superiore è dato da 8,2 millimetri di profondità e il limite inferiore è dato da 14,2, solita fine del settimo viaggio. Allora qui in questo caso la valutazione del professor Bertini è passata da 10 a circa 8,2, sulla base del fatto di considerare parte del carico di compressione. Ora, su questa valutazione del carico di compressione ovviamente dovremo ritornare, perché è un concetto molto importante valutare come e perché il 20 per cento. Perché il 20 per cento? Ecco. Discuteremo anche... anche di questo. Allora, qui abbiamo rappresentato un'altra slide, la numero 84, in cui abbiamo riportato in alto la linea che demarca una zona grigia, in cui il limite inferiore è sempre di 14 millimetri, ovviamente, perché rappresenta un dato di partenza; e in alto appare una lunghezza di 4,33 circa... poco più... 4 millimetri e 3 decimi, con una previsione che abbiamo fatto noi, io e Binante, con il modello del professor Bertini, con affidabilità del 50 per cento, ma con il 50 per cento del carico di compressione, provando... utilizzando la sua teoria e applicando noi...

aumentando il carico di compressione. Allora, la fessura... la profondità diventa 4,3. Poi abbiamo fatto lo stesso carico con affidabilità... con i dati del professor Bertini e con affidabilità del 95 per cento e i conti con il suo metodo, e arriviamo a 3,2. Allora si capisce che con i calcoli posso fare molte cose, posso considerare il 20, il 30, il 40, il 50 per cento, di volta in volta. Quella striscia... diciamo siamo alla slide numero 85... io posso fare avanzare quella lunetta in alto in particolare come voglio. Siamo passati... da 13 siamo già a 3, attraverso un processo che consiste nel prendere in esame una parte solo del carico di compressione, non tutto, ma una parte. E quindi si capisce che... vorrei, insomma, tirare la conclusione che con i metodi numerici bisogna starci molto... pagare molta attenzione, perché si prestano, come vedremo anche nel seguito, a molte possibilità, ecco, perché evidentemente il fenomeno è molto complesso. E se non partiamo dai dati che abbiamo, se qui non avessimo per esempio il segno del 14,2, potremmo dire delle cose più strampalate. Il punto centrale di tutta questa faccenda è il fatto che noi disponiamo di questa mappa, di queste... di queste marcature, che sono i dati reali, come ha detto l'ingegner Ghidini e come ha detto il professor Bertini. Ed è inequivocabile, quello rappresenta il punto di partenza secondo il quale giudichiamo tutto, come ha

detto inizialmente il professor Mucciarelli. Il punto di partenza è questo ed è inviolabile, di qui non possiamo... da questo non possiamo prescindere. E noi non prescinderemo mai da questo, in tutta la nostra trattazione. Allora, qui ho riportato un po' di storia, che fa vedere come circola questa superficie. Questa è la slide numero 86. In alto a destra la valutazione iniziale del professor Bertini, 13,2, e poi le varie valutazioni, da 8,2 a 4,3, a 3,2 e così via, in funzione del modello che sto assumendo. Allora però potremmo dire: ma, potrebbe essere vero. Allora, quello che qui mancava, nella slide precedente, siamo alla 87, è che con i calcoli... con il metodo del professor Bertini noi possiamo valutare... qui abbiamo fatto dei calcoli che però non riporto. Ne riparleremo dopo. Con il modello del professor Bertini, l'abbiamo verificato con i dati suoi e torna la sua valutazione iniziale, assumendo anche delle forme(?) un po' diverse, abbiamo preso i fronti di fessura reali, lui li ha approssimati, ma più o meno i conti che ha fatto Leonardo Bertini sono sostanzialmente corretti dal suo punto di vista. Allora, se qui riportiamo però la forma, la legge con cui avanza la fessura, troviamo che non c'è nessuno di questi dati che torna. Cioè, le ipotesi che possiamo fare, 50 per cento, 20 per cento, 30 per cento della compressione, portano a delle valutazioni che se le mettiamo e confrontiamo con i

dati sperimentali non ci portano da nessuna parte, sono tutte sbagliate, sono esattamente tutte sbagliate. Allora mi è venuto il sospetto che alla fine di tutto l'arcano di tutto questo sia il fatto che è il modello sbagliato, cioè la legge di Paris come è stata formulata è sbagliata. Abbiamo parlato per anni del modello della legge di Paris in un sistema che descrive un fenomeno in maniera assolutamente sbagliata e dimostrerò nella seconda parte perché è sbagliata, ve lo dimostrerò teoricamente e sperimentalmente. Quindi stiamo prendendo un abbaglio globale, colossale, sulla base di...

PRESIDENTE - Scusi, ma è sbagliata l'applicazione di questa legge...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, è sbagliato il metodo. La legge di Paris applicata a questo fenomeno non va bene.

PRESIDENTE - Ah, non va bene applicata a questo fenomeno.

C.T. DIFESA FREDIANI - La legge di Paris è quella che va bene, ma dove è applicabile. Dove non è applicabile evidentemente no. Io... scusate, ma la voce mi manca un po'. Allora... allora, trarrei...

PRESIDENTE - Prego, sentiamo le conclusioni e sospendiamo. Appena traiamo le conclusioni sospendiamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Però...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - No, finiamo, la finiamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Slide numero 89. Quarta conclusione.

Allora, la conclusione quarta che voglio fornire a tutti noi è questa: le valutazioni della profondità iniziale della fessura condotte nella consulenza del professor Toni non sono congruenti con i dati sperimentali.

PRESIDENTE - Okay.

C.T. DIFESA FREDIANI - Secondo: delle diverse valutazioni proposte dal professor Bertini, per tener conto di varie percentuali di carico di compressione, nessuna è congruente con i dati sperimentali, almeno secondo le nostre valutazioni. Ma ripeto, abbiamo testato il modello del professor Bertini con i suoi dati. Adesso passo ad una quinta conclusione che si riferisce a delle affermazioni fatte in questa aula dall'ingegner D'Errico. Parliamo del verbale del 24 maggio 2015, pagina 10. Ovvero che la velocità di crescita è costante. L'ingegner D'Errico dice che la fessura cresce con velocità costante, col numero dei cicli. E quindi io deduco: la fessura incrementa in modo lineare. Cosa voglio dire? Tanto per chiarirci, la velocità costante... il concetto di velocità è lo stesso di un'automobile; se vado a 50 all'ora, velocità costante vuol dire che in un'ora faccio 50 chilometri, in due ore ne faccio 100 e in tre ne faccio 150, vuol dire che l'andamento è questo. L'ingegner D'Errico dice... sostiene che questo concetto di velocità costante si applica anche qua e quindi...

AVV. NICOLETTI - Chiedo...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...la fessura incrementa, ripeto, in modo lineare, cioè...

AVV. NICOLETTI - Chiedo scusa, non ho capito la pagina del verbale del 24.

AVV. MAZZOLA - 90.

AVV. MUCCIARELLI - 90.

AVV. NICOLETTI - Perché non si vede nella slide.

C.T. DIFESA FREDIANI - 90, 90.

AVV. NICOLETTI - Grazie.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Ma la pagina dell'ingegner D'Errico?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ah.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Pagina 10.

AVV. NICOLETTI - Verbale 24 maggio 2015, pagina?

PRESIDENTE - 10.

AVV. NICOLETTI - Grazie.

(più voci fuori microfono)

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa. Ah, non si vedeva? Come mai?

PRESIDENTE - Poi dopo proviamo a centrare meglio.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, io qui riporto una figura nella quale ho riprodotto la legge di propagazione che tiene conto della fisica, cioè dei dati effettivi, e ho riportato la previsione che avrebbe fatto... come si sarebbe propagata la fessura secondo l'ingegner D'Errico

supponendo che... partendo da una fessura iniziale, non so, di qualche millimetro. Allora, in basso trovate una linea tratteggiata che rappresenta la previsione secondo la quale si sarebbe evoluta la fessura secondo l'ingegner D'Errico. Purtroppo - purtroppo dico - non è così, perché se fosse così non saremmo qui a celebrare questo processo. E non è così nemmeno se partissimo dalla lunghezza di fessura di 14 millimetri, che è stampata sull'assile, secondo la quale, andando sulla tangente a velocità costante avremmo ancora una propagazione molto inferiore a quella che è avvenuta. Cioè, chi si occupa di meccanica dei solidi, di meccanica della frattura, sa che questa affermazione è sbagliata. Non è vero che va lineare. Va molto... Cioè, se andasse lineare vorrebbe dire che mano mano che cresce la fessura questa si propaga con velocità costante. Abbiamo visto nella mappa della sezione fessurata che man mano che i viaggi diventano sempre maggiori, cioè all'aumentare dell'ordine dei viaggi, la fessura cresce sempre di più, la zona fessurata aumenta sempre di più, come è giusto che sia e come è noto che sia. Le chiedo scusa, posso fare cinque minuti di sosta?

PRESIDENTE - Facciamola adesso. Se non ce la fa...

C.T. DIFESA FREDIANI - Non c'ho più la voce.

PRESIDENTE - No, se non ce la fa più a parlare interrompiamo.

Allora cinque minuti, dieci minuti di sospensione.

(Viene sospeso il procedimento alle ore 12:07).

(Viene ripreso il procedimento alle ore 12:17).

PRESIDENTE - Eccoci.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Sì, sì, aspettiamo.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Allora possiamo riprendere? Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso continuare?

AVV. MAZZOLA - Scusi professore, solo un secondo - Avvocato
Mazzola per il verbale - il verbale dell'ingegner
D'Errico è il verbale 27 maggio.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. MAZZOLA - E non 24.

PRESIDENTE - E la pagina è 168. Perché la pagina 10 è il
riferimento alla consulenza dell'ingegner D'Errico,
mentre il verbale è alla pagina 168.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' vero. Dunque, poi cito lo stesso
verbale anche dopo con data 27, me ne sono accorto ora.

PRESIDENTE - Va bene, prendiamo atto. Proseguiamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, nella slide numero 91 riporto
la seguente dicitura, cioè "i documenti prodotti dal
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e da vari
autori del Dipartimento di Ingegneria Meccanica del
Politecnico di Milano indicano delle profondità iniziali

del tutto simili, paragonabili con quelle indicate dal professor Bertini", però maggiori dettagli su questo ci ritornerò in seguito, ovviamente. Ora io riportavo qua una frase, una frase... insomma, un'affermazione, ecco, dalla consulenza... da un documento del professor Toni, dell'11 ottobre 2011. Siamo alla slide numero 92. A pagina 184 nella versione che ho, spero di non... Dunque, il professor Toni dice: la fase di nucleazione individuata con la zona di innesco, di dimensioni circa 3 millimetri di larghezza e 1 millimetro di profondità, il tempo occorrente a raggiungere tale dimensione non è facilmente determinabile, ma è comunque assai lungo e non prevedibile tramite affidabili modelli fisico-matematici. Io concordo in toto con quanto ha detto Paolo Toni. Infatti è un fatto noto. Ma la differenza è che una volta che la fessura... il problema è di capire cosa è la fessura, come ho detto in precedenza. La fessura è la nascita di una singolarità con il bordo aguzzo. Per prodursi questa singolarità sono necessari tempi lunghi e non prevedibili. In questo il professor Toni ha assolutamente ragione. Il fatto è che da quella singolarità poi si produca un avanzamento, quello è un altro discorso, cioè la velocità è molto grande. Ma sulla parte dell'affermazione del professor Toni sono totalmente d'accordo. Ora io riporto anche altre osservazioni che, ripeto, non impegnano alcuna legge e

alcun modello e a fare alcun calcolo. Parlo del 27 maggio 2015, pagina 36 del verbale, spero di avere indovinato. E cioè l'argomento è la possibilità di individuare la fessura attraverso indagini non distruttive. Questo è l'argomento che tratta l'ingegner D'Errico. L'ingegner D'Errico dice: "Non mi dilungo perché ne ha già parlato il professor Toni. Ma si dice "io accetto questo errore, ma mi cautelo andando a spaziare i controlli successivi a ultrasuoni fra il primo e il secondo successivo, in modo tale che se il cielo volesse che questa cricca non viene detectata, al prossimo controllo, diamo un numero concreto" - questo è il punto - "arriverà ad esempio a 4 millimetri e a 4 millimetri a quel controllo avrò, con la stessa sonda, una probabilità del 97-98 per cento di detectarla". Quindi dipende tutto dagli intervalli ispettivi" - ecco, dice - "che sono cautelativamente stabiliti. Ormai si fa con prove dedicate, anche con la pratica di settore". In altre parole l'ingegner D'Errico introduce alcuni concetti, che voglio riassumere qua. Il primo concetto è che una propagazione realistica viene tipicamente ritenuta di circa 4 millimetri fra un'ispezione in cui è nota... in cui essa non è stata vista, e quella successiva. Ovvero quella successiva avviene dopo quattro, otto, più probabilmente otto o dodici anni di servizio, di esercizio. Quindi lui dice: in un intervallo in cui il treno cammina per dodici anni

la propagazione avviene... si propaga di 4 millimetri. Sostanzialmente è realistico, dice. E poi dice che gli intervalli di ispezione sono cautelativamente stabiliti, nel senso che nella realtà - almeno io immagino che voglia dire questo - la fessura propagherà assai meno, meno di 4 millimetri, se cautelativamente vuol dire "sto in sicurezza". E la terza argomentazione, il terzo concetto è questo: a supporto della definizione di questi intervalli di ispezione, cioè quattro, otto o dodici anni, ci sarebbero delle prove dedicate, ovvero immagino che sarebbero state prove condotte, sperimentali immagino, i cui risultati rendono confidenti sulla estensione assai minore di 4 millimetri fra due ispezioni. In altre parole, gli intervalli sono di dodici anni; sono sicuro che in dodici anni al più si propagherà in 4 millimetri; a riprova di questo ho delle prove, sperimentali immagino, che certificano che questo è vero. Questi sono i concetti che sono stati introdotti. Ora io però devo fare alcune osservazioni, perché la cosa è molto importante. Primo, non è stato specificato da alcuno, né dall'ingegner D'Errico né da altri, quali e quante prove siano state condotte a questo riguardo. Io non ne ho trovata alcuna. Da oggi... da oggi... purtroppo da Viareggio ce n'è una, ed è l'assile 98331. Però la propagazione avvenuta in questo... questo fenomeno racconta una storia del tutto diversa. Non sono i 4

millimetri che crescono in dodici anni. Seconda osservazione, a proposito di cautelativamente stabiliti. Allora, troviamoci d'accordo, la propagazione fino a oltre 60 millimetri, cioè quella avvenuta nell'assile 98331, e non fino a 4 millimetri, ma dico 60, è avvenuta in dodici semiviaggi a pieno carico. Su questo siamo d'accordo. Ovvero, assumendo una velocità media, è ragionevole che vada a 80 all'ora un treno, diciamo che ci mette dieci ore, diciamo una giornata. Quindi sostanzialmente in dodici giorni di esercizio la fessura è arrivata a 60 millimetri a fatica, e anzi con mezza giornata in più è arrivata al collasso totale, a 147. Ma in dodici anni i giorni sono 4.380 almeno, e anche in otto anni sono duemila... quasi tremila. Allora, stiamo navigando su un mondo diverso, un mondo che non è reale fino adesso. Cioè, questa è la mia opinione. Cioè, ipotizziamo, ma non è vero, che le creste di 4 millimetri siano visibili. Non è vero perché vi ho detto prima che non si vede. Ma ammettiamo che siano visibili. Allora, la propagazione fino a 4 millimetri, se andiamo a vedere quella curva, avviene in circa tre viaggi. Allora, la vita residua dell'assile, siccome è dodici giorni, avviene... tre viaggi vuol dire tre giorni. Quindi resta... la vita dell'assile è nove viaggi, cioè nove giorni. Allora ammettiamo che io abbia... cerchi la probabilità di scegliere un'assile a caso e di capire

qual è la probabilità che io possa detettare, vedere una fessura presente in un assile. La probabilità è il rapporto fra i casi favorevoli, cioè i giorni favorevoli, cioè in cui dico è visibile, 9 su 4.380, oppure 9 su tremila-quattromila, cioè il 2 per mille, l'1,5 per mille, il 3 per mille, zero. Nella pratica ingegneristica 2 per mille vuol dire zero, cioè io queste fessure non le vedrò mai, la probabilità di trovarla è su 1 milione di assili verrebbe 500, qualcuna. Quindi stiamo, come vi dicevo... io mi sono fatto un'opinione, per quel poco che possa aver capito, che tutto questo mondo, tutto questo modo di impostare la sicurezza dei treni è un mondo fasullo. Cioè, qui mancano le basi teoriche per ragionare in maniera concreta. La possibilità di vedere assili a caso e fare delle prove e trovare una fessura è rarissima, è piccolissima, nessuno può vederla. So che molti non saranno d'accordo ma io voglio manifestare da studioso questa opinione, e la dico con molta chiarezza e con molta convinzione. Ora ritorno a quanto ha detto l'ingegner Boniardi dal verbale mi sembra dell'08 luglio. E qui riporta una diapositiva, la numero 21, in cui il professor Boniardi espone schematicamente secondo lui la storia della propagazione. Allora, qui c'è una sequenza di dodici figure. Sono... una parte dipinta in azzurrino e una parte in bianco. La parte in bianco rappresenta la zona fessurata, tanto è vero che successivamente, in

quella successiva, riporta A, cioè lunghezza di fessura.

AVV. MUCCIARELLI - Scusi professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - Però diciamo è la slide numero 96.

AVV. MUCCIARELLI - Professore mi perdoni, le diapositive, le figurine bianco e azzurre sono tratte dalla relazione Boniardi.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sono... è la stessa figura tratta dal professor Boniardi.

AVV. MUCCIARELLI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Nella presentazione del professor Boniardi. Nella presentazione, sì. Allora, il professor Boniardi mette dodici figure, che io immagino rappresentino i dodici viaggi, perché la forma, vedete, la forma della parte azzurra riprende chiaramente la parte non fessurata. Quindi la parte bianca rappresenta la parte fessurata. Questo è quello che io riesco a capire, ma mi sembra che sia normale, tant'è vero che poi ripete in quella successiva e nel bianco ci mette A, lunghezza di fessura. Allora, il professor Boniardi interpreta la propagazione come una successione di situazioni in cui si è trovato l'assile, che è stampata qua, che lui descrive qua. Allora, a giudicare dalla forma e dal numero dei fronti della fessura, sembra che il professor Boniardi si riferisca ai fronti individuati in sede di incidente probatorio presso la Lucchini, e infatti, ripeto, la forma è esattamente la stessa.

Esattamente... insomma, qualitativamente è la stessa. A parte i dodici viaggi o i tredici, ma è una questione secondaria. Adesso vediamo la slide numero 22 presentata dallo stesso professor Boniardi. Io mi riferisco alla mia slide numero 97. Nella slide numero 22 in ascisse il professor Boniardi riporta il numero dei cicli o il numero dei chilometri percorsi, che sono proporzionali, è la stessa cosa. In ordinate mette l'avanzamento della fessura, A, infatti la indica qui. Ora, l'asse verticale, quello delle ordinate, riporta l'avanzamento della fessura e quello orizzontale riporta il numero di cicli o chilometri percorsi. Allora, l'asse delle ordinate non ha una scala, ma fare la scala è molto semplice, perché se io associo a questo valore la rottura finale, la lunghezza finale di fessura, che è 90 o 62, a seconda di quello a cui si riferisce il professor Boniardi, poi divido in 60 parti la scala delle ordinate e ho creato la scala in millimetri, si fa presto. Il problema è la scala delle ascisse. La scala delle ascisse è un problema grosso perché non rispetta la condizione che gli intervalli di cicli fra un viaggio e l'altro sono uguali, e cioè la lunghezza della tratta rimane costante e quindi i punti individuati delle freccette del professor Boniardi devono essere equidistanti qua sopra. Infatti lui la scala... fa una scala strana, perché dovrebbe essere uniforme, divisa in tratte uguali, ciascuno

rappresenta un viaggio e ciascuno ha un numero di cicli uguale, sennò non ci si capisce. La distanza fra Trecate e Gricignano non cambia. Per cui, se le parole hanno un senso, io capisco che magari, così, il professor Boniardi vuol dire che lui sta pensando che l'Italia si stia accorciando di viaggio in viaggio, oppure che negli ultimi viaggi in maniera drammatica, nel senso che si accartoccia. Beh, questo nasce dal fatto che non si tiene conto di quello che è scritto sull'assile, a mio parere. L'assile racconta la storia che ogni viaggio è stampato con una sua storia. L'ha scritta, l'ha detto quanto si propaga, basta leggerla. Allora a questo punto si capisce che questo diagramma non c'entra nulla con la realtà. Eppure questo diagramma confrontiamolo con la realtà. La realtà è fatta da quelle stelline. Siamo alla slide numero 99. Quelle stelline rappresentano i punti che sono stati individuati dall'ingegner Ghidini, dal professor Bertini, da noi, e rappresentano i punti sperimentali, quelli reali. Allora si vede che la scala... questo punto, vedete, la scala delle ascisse riporta... è uguale. Da un intervallo all'altro i cicli ovviamente sono gli stessi, la distanza in chilometri non è cambiata. E la curva del professor Boniardi non c'entra nulla con questo che rappresentiamo qua. Lui racconta che in due viaggi ha passato quasi la totalità dei cicli e poi nell'altro è andata dritta verticale. Ma a parte il

fatto che uno studioso dovrebbe capire che i fenomeni non avvengono con una variazione di curvatura. Qui c'è una variazione non della tangente, ma della curvatura. Cioè, la fessura è piatta e poi improvvisamente schizza. Non è possibile che questo avvenga nella realtà. E' noto, non c'è bisogno di fare grandi simulazioni, è noto che è sbagliato. Non solo, ma il professor Boniardi tira fuori un'altra storia e cioè fa vedere dei grafici che sono tratti dalla mia slide numero 100. Io riporto la slide del professor Boniardi, che ha un numero che non ricordo... 34 della sua esposizione. Allora, il professor Boniardi riproduce lo stesso concetto precedente, e cioè dice: la fessura è talmente rapida nella parte finale che io prendo la rottura finale, torno indietro di 22 chilometri e trovo 11 millimetri; oppure ne prendo un'altra e trovo 12. In altre parole dice: io parto dall'assunto che la fessura sia 11 o 12 e poi torno indietro e ritrovo 11 e 12. Sostanzialmente è questo. Se il professor Boniardi avesse preso un asse orizzontale, senza quella piccola curvatura, e poi avesse preso un asse verticale, se fosse tornato indietro un milione di chilometri avrebbe sempre trovato 11 o 12, quello che aveva supposto lui all'inizio. Questo sul piano logico. Tra l'altro in questa bibliografia si cita... in questa slide egli cita un lavoro che si chiama... gli autori sono Raduta, Locovei, Nicoara, Cucuruz, *On the influence*

of residual stresses on fatigue fracture of railway axles. Allora, cerchiamo di capirci. Le tensioni residue sono una cosa assolutamente diversa. Le tensioni residue non c'entrano niente con quello di cui stiamo parlando. Le tensioni residue sono un problema di tensioni che nascono per esempio nelle saldature, in cui il sistema di tensione autoequilibrato produce delle tensioni di trazione e di compressione che globalmente stanno in equilibrio e si chiamano tensioni residue, che si eliminano nei carrelli, per esempio, parlando di ferrovie, attraverso un processo che si chiama "di distensione". E' un processo termico: si mette in forno, si distende e si eliminano le tensioni residue. Gli assili non hanno tensioni residue. La loro tecnologia di produzione è tale che non c'è nessuna tensione residua. Quindi tutta questa roba, le tensioni residue, non ha a mio parere alcun senso. Allora, a proposito del picco di velocità finale, cioè quella velocità enorme che il professor Boniardi ci rappresenta schematicamente e vi cito una figura a pagina 23 della sua presentazione. Ovvero la curva $da/dN \Delta K$ determinata presso Lucchini a Lovere in sede di incidente probatorio. Io ve la riporto nella figura successiva, che è questa. La slide è la numero 102. Ora qui riporto una curva che è tratta da documenti della Lucchini e che riporta una elaborazione dei dati fatta dall'ingegner Ghidini. Le prove di fatica

sono rappresentate da una nuvola di punti, sono quelli rosa sulla figura a destra della slide numero 102. Questa figura riporta tre pendenze. Torneremo su questa figura, che è stranissima dal punto di vista della storia della meccanica dei solidi, mai vista. Comunque ammettiamo che sia questa, ammettiamo che abbia ragione. Allora, qui c'è scritto che nella parte finale, vedete, in alto, sulle ordinate c'è la velocità di propagazione e qui c'è il fattore intensità degli sforzi, cioè la forza che tende a far propagare la cricca, la *crack driving force* dicono in inglese. Qui c'è scritto che da un certo punto in poi la velocità, cioè la pendenza diminuisce, cioè questi dati a cui fa riferimento il professor Boniardi indicano una fessura che decelera, cioè sta andando più piano di prima. E invece lui la prende alla rovescia, nel senso che dice che qua è in senso opposto. Per essere d'accordo con questi dati questi dati dovrebbero andare in verticale, e invece vanno quasi orizzontali, si appiattiscono. Quindi c'è un'incongruenza sul piano logico. Io non metto in dubbio i conti, ma giudico queste questioni sul piano puramente logico, della ricerca scientifica. E non torna. Allora, un picco di velocità come è quello ipotizzato dal professor Boniardi implica la presenza di valori massimi di ΔK , cioè quelli nella parte finale, che sono fatti in maniera diversa, e infatti la pendenza è del tutto opposta. Quindi i picchi

di velocità di propagazione ipotizzati dal professor Boniardi non trovano giustificazione nemmeno nei dati della società Lucchini. Trovano giustificazione in loro stessi, senz'altro, a mio parere.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, per il verbale potremmo tornare un attimo alla slide? Quindi i dati della società Lucchini a cui lei si riferisce è la nuvola di punti rosa che vediamo nell'immagine a destra?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quello che lei ci sta dicendo è che nella parte alta questa nuvola piega verso destra, mentre se dovesse seguire l'ipotesi del professor Boniardi dovrebbe piegare verso sinistra, dovrebbe andare dritta verso l'alto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dovrebbe andare verso l'alto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E invece nella realtà...

C.T. DIFESA FREDIANI - Per spiegare...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...i dati riscontrati a Lovere, su cui poi ritorneremo, vanno verso il basso, nella parte... nella parte finale della nuvola.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' esattamente così. Però a prescindere dal fatto che sia vera o falsa la curva, c'è incongruenza fra i dati a cui si riferisce il professor Boniardi e le sue conclusioni, che sono l'opposto. Questo volevo far notare.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sulla validità di questa curva ci torneremo, cosa dice fisicamente, qual è la fisica che esprime questa curva. Il professor Boniardi poi parla del controllo ultrasonoro dell'assile. Ripeto ancora, continuo ad esporre argomentazioni senza fare calcoli. Dice: "Una cricca di 10 millimetri di profondità è certamente identificabile attraverso un normale controllo manutentivo svolto con la normale diligenza richiesta ad un operatore". Riporto la slide numero 54 del professor Boniardi nella mia slide numero 103. E mi dice: "Da tutto conseguono necessariamente due conclusioni alternative. La prima: il controllo non distruttivo ad ultrasuoni è stato eseguito piuttosto malamente e certamente in modo inefficace, perché non ha individuato una cricca avente, in un'ottica di controllo, dimensioni tali da essere facilmente identificata, oppure il controllo non distruttivo ad ultrasuoni non è stato per nulla effettuato. E infatti ho letto poi il verbale in cui dice "secondo me... eccetera". Poi c'è una domanda dell'Avvocato Maffei. Il verbale è quello dell'udienza dell'08 luglio del 2015, pagina 62 e la mia slide è la numero 104. L'Avvocato Maffei fa una domanda più diretta al professor Boniardi e gli dice ma secondo lei l'ha vista o non l'ha vista per nulla"? E lui dice, il professor Boniardi dice: "Non è stato effettuato per niente". Cioè, è un'affermazione fortissima. Cioè sta

dicendo: "Questa persona non ha guardato questo assile". Allora io però, con la stessa onestà intellettuale devo contraddire in maniera secca, assoluta, il professor Boniardi, perché è evidente, a mio parere, che senza violare alcuna legge fisica o matematica, ma anzi in accordo con la storia che è stata stampata sulla sezione dell'assile, io aggiungo una terza ipotesi, almeno una, ovvero che - come dimostrerò scientificamente - quella fessura non è stata vista perché nessuno poteva vederla, ripeto, nessuno poteva vederla. Allora, poi ritorno ad altre affermazioni, sempre sul piano qualitativo, che ho ascoltato in questo processo. La deposizione dell'ingegner D'Errico del 27 maggio 2015. La mia slide è la numero 106. Dice l'ingegner D'Errico: "E' identificata una fase di cosiddetta propagazione stabile; ne avete già parlato, quindi non mi ripeterò. Spesso quando si è fortunati" - ecco, si cita il problema... il fatto di fortuna, di fortuito, insomma - "questa fase di propagazione stabile è anche marcata da delle cosiddette linee di spiaggia, ne ha parlato il consulente della Procura, professor Paolo Toni, ne ha parlato il professor Bertini". Poi dice: "Richiamo solo che è uno stato di ossidazione della cricca, quando si ferma, e poi ripartendo viene lasciata una marcatura". Ora, queste affermazioni sono assolutamente strane per ognuno che si occupi di meccanica dei solidi. Infatti io osservo

questo, ma si può confutare senza fare conti, senza essere pratici di meccanica dei solidi, ma sulla base di quello che abbiamo ascoltato e visto fino a ora, sulla base dei dati reali che abbiamo sottomano. La prima osservazione è questa: che se ciò fosse vero, ogni volta che il treno fa una sosta, ad esempio un segnale, dovremmo avere una marcatura, e quindi su questo assile ne avremmo centinaia, immagino; secondo, l'affermazione precedente è in contrasto con le analisi del professor Bertini e dell'ingegner Ghidini; il professor Bertini e l'ingegner Ghidini sanno benissimo che le cosiddette linee di spiaggia, che non sono linee di spiaggia fra l'altro, non sono fortunate, non nascono dalla fortuna e non nascono quindi da ossidazioni, ma sono la conseguenza sistematica, non fortunosa, della presenza dei viaggi di ritorno a vuoto, cioè delle tensioni residue di compressione rapida della fessura; l'hanno detto e l'hanno ripetuto, lo sanno benissimo. Quindi lo dico... lo faccio dire a loro. E non si comprende, come terza osservazione, perché essendo le marcature dovute a ossidazioni, non siano presenti anche quelle relative alle lunghezze piccole. Perché no? Si ossida anche se è piccola la fessura. E invece non ci sono. E perché? La ragione non è fortunosa. Perché quelle piccole non hanno l'energia all'apice della fessura tale da produrre quel fenomeno. Quarta osservazione: ne conseguirebbe che

secondo la teoria dell'ingegner D'Errico la situazione è molto rapida, nel senso che quando scarica il GPL a Gricignano si forma l'ossidazione. Ma lui ha detto molte volte, e lo ripeterà, vi farò vedere, che è il contrario, ha detto che l'ossidazione è un processo molto lento, che ci vogliono anni per ossidarlo. Allora qui c'è qualcosa che non mi torna. Allora torneremo su questa questione, che le marcature non sono corredate... non sono... non sono fortunate, non dipendono dall'ossidazione, ma sono dovute al comportamento elastoplastico del materiale, cioè la memoria che il materiale conserva della storia precedente, e che questo è ripetibile in laboratorio, quindi qualunque persona che (parole incomprensibili) può replicare quanto vuole, come abbiamo visto all'inizio quando vi ho mostrato la figura di quell'assile con le marcature.

Adesso faccio... mi riferisco a delle questioni che sono meno... un po' più secondarie, che si riferiscono però ad altre deposizioni che ho ascoltato. Su queste deposizioni posso dire molto poco perché sono state affermazioni che hanno... parlo della slide numero 107. Grazie. Dunque, parlo della deposizione dell'ingegner Chiovelli dell'Agenzia nazionale della sicurezza delle ferrovie, che abbiamo... io non c'ero, ma mi sembra... sì, sì, c'ero, il 24 giugno 2015. Allora, l'ingegner Chiovelli nella sua deposizione non ha indicato se presso

l'Associazione nazionale della sicurezza delle ferrovie, che è l'ente responsabile della sicurezza del trasporto ferroviario, siano stati effettuati calcoli, prove sperimentali o altro, cose che sembrerebbero a mio parere in tema con l'ente che egli rappresenta, o rappresentava, a conferma delle sue tesi circa la profondità iniziale della fessura, che egli assume intorno a 10-12 millimetri. Non solo, ma anche sulla causa della formazione della stessa ci potremmo aspettare che da quelli che si occupano della sicurezza delle ferrovie venisse un messaggio che dica "beh, io ho fatto i conti, ho dato incarichi, ho incaricato qualcuno di fare i conti". Invece non mi pare di avere ascoltato questo. Allora, sulla base di sue considerazioni, purtroppo senza alcun supporto fisico-matematico, egli ha dedotto una profondità iniziale della fessura dell'ordine di 10 millimetri e ha aggiunto il suo caso ad una casistica che ha citato il professor Boniardi, a conforto delle sue deduzioni sul fatto che la profondità è 10-12 millimetri. Il professor Boniardi ha detto: "Ci sono... io non ho letto la relazione fatta dal professor Frediani e dall'ingegner Binante". Non l'ha citata fra le sue voci bibliografiche, nella sua deposizione. Però ha detto: "C'è qualcuno che ha detto che la fessura è profonda 20 e poi c'è un certo numero che dice che è 10, e qualcuno che ha detto che è 2". Quindi probabilmente gliel'hanno

raccontato che io ho scritto che è 2 millimetri e probabilmente poi l'ha saputo. Però non ha letto la mia... le nostre relazioni, che erano depositate già presso il Tribunale. E quindi, diciamo, facciamo la media da 20 a 2 e viene 10. Questo è il concetto. A questa media si sono adeguati in tanti. Visto che alla fine si viaggiava intorno a 10, tutti hanno martellato sul 10. Questa è la mia opinione, molto franca, senza tanti giri di parole. Allora, ci occuperemo in questo aspetto in dettaglio, senza purtroppo poter analizzare i calcoli effettuati dall'ente, dall'Agenzia nazionale della sicurezza delle ferrovie, che tali calcoli dovrebbe rendere espliciti, a salvaguardia della sicurezza del trasporto ferroviario e di quello dello (parola incomprensibile) della quale lo stesso ente è responsabile.

Poi c'è stata una deposizione del professor Nicoletto, il quale si è limitato a riportare una slide. La mia slide è la numero 108 e la sua slide è la numero 25 della sua deposizione, in cui lui riporta... egli assume semplicemente le previsioni formulate dal professor Toni, dal Politecnico di Milano e dal professor Boniardi. Appunto, c'è un buco nero dei 10 millimetri che diventa il buco nero nel quale tutte le... diciamo, tutte le formulazioni vanno a finire. E dice infatti: "Una cricca di 10 millimetri di profondità è certamente

identificabile su un normale controllo manutentivo". Anche qui, "certamente identificabile" senza capire che la fessura è inclinata, senza capire che non c'è curva di taratura per vederla, senza capire diciamo quanto è grande. Eppure tutti sono certamente sicuri che è identificabile. Questo lo dico sul piano di studioso e di appartenente ad un'università dello Stato, in cui la prima cosa è l'onestà intellettuale e il rigore morale, e quindi questo lo dico sulla base di queste argomentazioni.

Poi c'è la deposizione del professor Curti e del professor Roberti, in data 25/11/2015. Il professor Roberti dichiara di avere fatto i calcoli con carta e penna, concludendo che la profondità della fessura è di circa 10 millimetri. Purtroppo tali calcoli non sono disponibili, come in altri casi condotti in questo modo. Il professor Curti non ha discusso di questo argomento. Le conclusioni non hanno... le conclusioni di coloro che non hanno prodotto alcuna giustificazione della loro tesi sulla profondità della fessura io non potrò ulteriormente commentarle e quindi rimangono valutazioni puramente qualitative che ho fatto qua e che non riprenderò più, ovviamente, perché non ho possibilità di avere alcun confronto sul piano numerico, teorico o sperimentale che sia. Io vi ringrazio e ho concluso questa parte.

PRESIDENTE - Possiamo...

C.T. DIFESA FREDIANI - Però se mi date...

PRESIDENTE - Beva pure. Faccia pure la sua riflessione.

Dicevamo, Avvocati...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Signor Presidente, mi dovrò occupare io dell'esame della parte seconda, che purtroppo è una parte un po' più tecnica, più lunga e più impegnativa di questa, che era piuttosto basata senza calcoli, come ha detto l'ingegnere, semplicemente su un'analisi della superficie di frattura e dei dati direi reali scolpiti sulla superficie. Nella parte successiva dobbiamo invece passare alla dimostrazione scientifica, che direi è molto più impegnativa e soprattutto un'interruzione, visto che è anche più lunga di questa prima parte, un'interruzione a metà credo, perlomeno per quello che mi riguarda, farebbe perdere il filo del discorso. Quindi con l'autorizzazione del Tribunale forse sarebbe opportuno fare adesso una breve pausa e riprendere in modo da poter coprire la seconda parte senza interruzioni.

PRESIDENTE - L'idea era di fare un'ora di pausa e basta, perché oggi cercheremo di fare tutto, speriamo, almeno l'esame, speriamo, poi dopo... quindi vogliamo farla ora?

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Allora ci diamo appuntamento alle due, per favore tutti puntuali, perché alle due si comincia.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie, Presidente.

(Viene sospeso il procedimento alle ore 12:52).

(Viene ripreso il procedimento alle ore 14:07).

PRESIDENTE - Allora, accomodatevi. Allora, ci siamo. Avvocato Ruggeri.

Difesa - Avvocato Ruggeri Laderchi

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, grazie Presidente. Con l'autorizzazione del Tribunale resterei seduto. Professore, lei nella prima parte che, come ha sottolineato diverse volte, non implicava nessun calcolo ma una semplice osservazione dei dati reali, che lei chiama dati sperimentali, scolpiti sull'assile, ha tratto determinate conclusioni e ha effettuato... ha interpolato i punti, mi sembra sia il termine scientifico da lei utilizzato, con un curvilineo e poi con delle tecniche matematiche correnti. Se non erro questo è quello che ha fatto nella prima parte. Io le vorrei chiedere adesso di illustrare, ricordandosi sempre che, lo ricordo a me in primo luogo che, appunto, sono un modesto laureato in legge, forse uno di quelli che ha studiato legge perché non andava abbastanza bene a matematica per fare ingegneria, quindi se ci può illustrare qual è la tecnica che voi nella vostra relazione, che è stata depositata a suo tempo durante le indagini preliminari, avete proceduto a dimostrare la profondità iniziale della

fessura, che, ricordo, è la profondità della fessura nel momento in cui l'assile è rientrato in servizio nel marzo del 2008... 2009, mi scusi.

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso? Allora, io premetto che imposterò la presentazione analizzando due tipi di attività: una di carattere teorico-numericò, per esempio la determinazione del fattore di intensità degli sforzi sul fronte della fessura, come ho già accennato stamani, e poi, non so, soluzione dell'equazione differenziale della propagazione, ma senza annoiarvi troppo, problemi di ottimizzazione e così via, leggi di interpolazione dati, è un tipo di attività che abbiamo condotto in questo periodo; e poi soprattutto un'analisi sperimentale, cioè abbiamo eseguito delle prove sia su provini *compact tension*, con metodologie però tipiche della ricerca scientifica e non dell'attività industriale, che è un po' diverso; e poi prove di propagazione di una fessura su un treno reale, su un assile reale, nel laboratorio dell'ex Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale di Pisa, per capire alla fine se tutto il quadro che ci siamo fatti aveva un conforto sperimentale. Desidero dire questo perché la meccanica della frattura non è una disciplina che si possa affrontare con successo con strumenti che riguardano solo il calcolo o il calcolo numerico, oppure soltanto con la parte sperimentale. E' una disciplina che necessita di

interazione fra prove di laboratorio e parte diciamo fisico-matematica. Allora, intanto vorrei accennare subito agli esperimenti, i quali confermano tre cose. Primo, che le marcature presenti sulla sezione fessurata sono effettivamente il risultato di viaggi a vuoto, cioè le marcature; secondo, che ogni campo fra due marcature corrisponde a una propagazione a pieno carico, e lo vedremo sperimentalmente; e poi che all'inizio del processo della propagazione si formano delle caratteristiche striature, che sono state attribuite erroneamente a corrosione profonda, ma noi vedremo invece che sono una cosa diversa, io l'ho capita attraverso questi esperimenti, prima non ne avevo conoscenza, e quindi ve le illustro, ecco. Un'osservazione che voglio fare in via preliminare è questa: in tutti gli elaborati noti fino ad oggi riguardanti questo assile la legge di Paris è stata assunta come il modello per descrivere la propagazione nella sezione, con i parametri costitutivi determinati da prove su provini *compact tension*, che sappiamo cosa sono, comunque lo ripeterò, soggetti a carichi alternati di trazione, solo di trazione. Allora ci possiamo porre alcune domande. La prima.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, scusi, la interrompo ricordando a me stesso in primo luogo questo invito a spezzare con noi il pane della scienza in modo... considerando anche che siamo nel pomeriggio. I provini

compact tension sono quei quadretti di metallo che sono stati messi in una macchina e strappati a Lovere, di cui ci aveva parlato ad esempio l'ingegner Ghidini e di cui vediamo... io ho qui pagina 21 della loro relazione di Lovere?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sono quelli.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sono dei quadretti di metallo dai quali si determina che cosa? Delle caratteristiche del metallo? La velocità di propagazione? Cosa si fa su questi quadretti?

C.T. DIFESA FREDIANI - No, si determina la legge di propagazione, che viene assunta poi nello stesso corpo dell'assile per esempio fatto dallo stesso materiale.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E queste prove... e durante queste prove, quindi, se ho capito bene, i provini sono sottoposti esclusivamente a trazione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ciclica, sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mentre l'assile ferroviario è sottoposto a trazione e compressione...

C.T. DIFESA FREDIANI - E compressione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...a ogni giro della ruota.

C.T. DIFESA FREDIANI - Perfetto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ce lo conferma?

C.T. DIFESA FREDIANI - Questa è una distinzione essenziale per capire che non è la stessa cosa. Cioè, quello che riproduciamo fisicamente con i provini non è quello che

avviene nell'assile. E questa è anche la domanda da cui... cioè, è anche l'osservazione da cui nasce la domanda, ecco.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quindi lei ci stava dicendo, le domande che lei si è posto è vedere se questo modo di procedere... cioè, ci illustri quali sono queste domande che lei ha qui nella slide e che sono state l'oggetto della vostra ricerca.

C.T. DIFESA FREDIANI - Non ho sentito, scusi.

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, le volevo chiedere: quindi io vedo qui delle domande che lei ci stava illustrando. Mi scuso di averla interrotta e le chiederei di continuare con la descrizione(?) delle domande.

PRESIDENTE - Ecco, Avvocato...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. La seconda domanda è se esistono esperienze che dimostrano che il modello è valido per trattare il fenomeno in esame. La terza è se ci sono basi teoriche a supporto dell'assunzione assiomatica, cioè che sia valido, cioè base teoriche che dicano "è valido". E la quarta, se esiste la congruenza fra le previsioni della legge di Paris con i fronti reali dell'assile. Alla quarta domanda abbiamo già dato una risposta stamani su un altro fronte, cioè sul fronte sperimentale, quello evidente, quello che appare nella sezione fessurata. E non tornano. Stamani abbiamo elaborato quei dati con la legge di Paris calcolata sulla base di trazione e abbiamo

visto che non c'è congruenza fra i dati reali e quelli invece previsti. E qui abbiamo già una prima risposta. Ora devo ritornare sulla legge di Paris, che riprendo da questa figura che ha circolato molte volte in questo processo. Dunque, la legge di Paris...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Per il verbale è la slide 6 della seconda parte della presentazione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa. Slide numero 6. Ora bisogna che mi riabitui. La legge di Paris... in questa slide vengono mostrate tre fasi: fase 1, *small crack growth region*; fase 2, che è quella tipica della propagazione nella regione di Paris, appunto; e la fase 3 che riguarda la propagazione stabile o vicina al collasso. Ora, vorrei fare alcune osservazioni che sono interessanti in questo contesto, anche se mi rendo conto che possono essere note, ma non vorrei annoiarvi troppo. Ma è necessario che le faccia, quindi mi scuso in anticipo. Dunque, la fase 1, voglio dire, è quella sul lato sinistro, quella in cui la curva pende verso il basso in maniera molto ripida. Si chiama zona di *threshold*, cioè di soglia. Allora, la fase 1 è detta di soglia in inglese e la fessura è molto lenta, fino ad annullarsi. Come si fa a ottenere questo valore di soglia? Si fa così: guardate questa figura in basso, la figura numero 2.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sulla diapositiva numero 7 della...

C.T. DIFESA FREDIANI - Della slide numero 7, chiedo scusa ancora. Allora, qui io ho segnato una figurina che mostra un diagramma, ΔP in funzione del numero dei cicli. E vedete, c'è segnato un 1. Vuol dire che io sto applicando dei cicli di carico oscillanti per un certo numero di cicli, finché la fessura propaga. Allora, questo rappresenta lo stato fisico della propagazione. E' rappresentato dal punto 1, in cui c'è una velocità di propagazione sulle ordinate e un valore ΔK sulle ascisse, della *crack driving force*, cioè della forza che tende a farla avanzare. Poi ritorneremo su questo. Dopodiché, quando ho ottenuto questo, abbasso il livello del carico. Inizialmente la fessura si ferma per i problemi che abbiamo detto prima, cioè il livello di carico lo abbasso e quindi tende a fermarsi. Ma l'abbasso di poco, in modo tale che questa fase duri poco, di stop. Poi proseguo ancora con l'applicazione dei cicli 2, finché la fessura riparte e la faccio propagare per un po', in modo da rilevare la derivata, cioè la velocità. E ottengo il punto 2. E poi faccio il punto 3. Finché mi accorgo che... finché verifico che la fessura non propaga più. Allora ho costruito questo ramo 1 tornando indietro, partendo dal carico più alto a quello più basso, cioè dai punti 1, 2 e 3, vuol dire carichi maggiori via via decrescenti. A cosa serve questa roba, questo... questo dato? La fase 1... intanto non esiste una fase 1 nel caso

di trazione e compressione. Esiste solo nella parte di trazione. E quindi a questo punto, diciamo, nel caso nostro non è granché interessante. Invece è molto interessante in altri campi, in particolare per spiegare diciamo a cosa servono le cose. In particolare io l'ho usata nel caso del progetto dei dischi delle turbine dei motori degli aeroplani, in cui si usano materiali molto particolari, molto sofisticati, fatti da polveri ad alta temperatura e ad alta pressione. Queste polveri hanno una resistenza altissima, perché sono polveri finissime, però hanno dei difetti interni. Allora, i costruttori dei motori degli aeromobili applicano, vogliono sapere se il disco di turbina scoppierà durante il moto e lo fanno prevedendo se questa fessura propagherà, questo difettino diventerà una fessura e poi propagherà. Allora hanno bisogno di fare carichi molto alti, come avviene nel rim del disco, con fessure molto piccole. Allora si va a cascare in questo campo di Δ di *threshold*, cioè di ΔK molto piccoli. Il fenomeno della propagazione nulla ha a che fare con la fase 1, com'è facile dimostrare. Quindi la fase 1 non c'entra con noi, malgrado che durante le prove fatte a Lovere intervenga una fase, come avete visto stamani, in cui la fessura... la velocità di propagazione decresce molto bruscamente, ed è un fatto un po' improprio, di cui discuteremo. Ma ripeto, in linea di principio questo tipo di attività riguardano problemi

diversi, riguardano problemi diversi che sono problemi intanto di trazione e basta, e poi riguardano strutture con ΔK molto piccoli, derivanti da difetti molto piccoli, cioè quelli dei dischi delle turbine.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, prima... mi scusi, giusto per la mia comprensione, tornando alla diapositiva numero 6...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...lei sostanzialmente ci sta dicendo che l'area all'estrema sinistra del grafico non è rilevante nel caso di specie?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E' questo la conclusione di queste sue osservazione su questo punto?

C.T. DIFESA FREDIANI - E' così. La zona rilevante è questa fase 2, è la fase centrale, e questa è la fase che è stata utilizzata da tutti nel caso della propagazione dell'assile in esame. Allora, io vorrei fare alcune osservazioni sulla fase 2. Allora, questa è la slide numero 9, in cui ho riportato per maggiore chiarezza, insomma, le cose che abbiamo visto stamani, cioè i viaggi, le marcature, viaggi andata e ritorno e così via.

PRESIDENTE - Ecco, quelle che abbiamo già visto... professore, su quelle che abbiamo già visto... le cose che abbiamo già visto...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, le abbiamo già viste.

PRESIDENTE - ...può bastare un accenno e poi andiamo avanti.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ecco, torniamo alla fase 2. Ora, io ho riportato nella slide numero 10 a sinistra la fase centrale, quella in cui si applica la legge di Paris, e a destra quella che è stata utilizzata dal professor Bertini nella sua appendice O. Allora, la propagazione è avvenuta in questa fase, cioè nel tratto lineare, dove in linea di principio potrebbe essere applicata la legge di Paris e di fatto è stata applicata da tutti quelli che hanno lavorato in questo contesto. Il professor Bertini però ha usato tre segmenti di retta, cioè ha preso i dati di Lovere relativi a tre provini - di cui vi parlerò - nella figura a destra, slide numero 10, e ha preso la nuvola di punti mettendo insieme tutti i dati delle tre prove. E' una cosa lecita, ovviamente. E poi ha preso il valore medio, lui la chiama probabilità al 50 per cento, pure una curva estrema e l'ha chiamata curva di probabilità al 95 per cento. Quella che... voglio dire, 95 per cento vuol dire che tutti... il 95 per cento dei dati si trova al di sotto di questa curva; invece il 50 per cento vuol dire che i dati si trovano a metà, a destra o a sinistra di questa curva media che ha preso lui e che è indicata in bianco, vedete, dentro la nuvola di punti. Allora...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, per il verbale, quindi la figura marcata come figura 5 a pagina 10, alla

sua diapositiva 10, è una figura tratta dalla relazione del professor Bertini, appendice O...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...della relazione del professor Toni?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quando lei ci parla del fatto che il professor Bertini ha preso tre tratti di curva, sono quei segmenti bianchi che vediamo; quindi non ha preso un'unica pendenza per la curva ma ha utilizzato tre pendenze separate.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' così. Ripeto, è una... diciamo, una cosa assolutamente lecita, voglio dire. Nei suoi calcoli però, procedendo a ritroso da una lunghezza di fessura di 90 millimetri e giungendo al settimo viaggio, per cui la fessura è profonda 14 millimetri, la variazione del fattore di intensità degli sforzi corrispondenti a questi 14,2 millimetri assumerebbe un valore circa pari a quello di soglia, cioè al valore per cui la curva diventa profondamente decrescente, quasi verticale. Questo vorrebbe dire che... Cosa vuol dire questo? Che la velocità di propagazione è talmente lenta, con una pendenza piccola, che nei viaggi precedenti al settimo la fessura avrebbe progredito in modo estremamente lento, come si evince dall'andamento piatto della curva del professor Bertini nella slide numero 11 nostra, nella figura a sinistra.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, che cosa intende con "estremamente lento"? Cioè, nei primi sette viaggi, utilizzando questa pendenza verticale nei provini, che dà dei fattori C ed M che poi lei ci illustrerà, che cosa vuol dire che la cricca procedeva in modo estremamente lento secondo il modello di Bertini?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, dal punto di vista qualitativo vedete che la curva del professor Bertini partendo dall'inizio è quasi orizzontale. Quindi vuol dire che la pendenza è quasi vicina a zero, quindi vuol dire questo che è estremamente lenta. Dal punto di vista pratico io...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Cioè...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...facendo un conto semplice, verrebbe fuori che per propagare da un valore piccolo, diciamo 2 millimetri, fino alla rottura a 90 millimetri, quella che è il campo totale di propagazione, occorrerebbero circa 32.000-33.000 viaggi, con questo tipo di... con questo tipo di dato (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, mi scusi professore, questo dato... cioè, la velocità nella fase iniziale secondo il modello di Bertini, per arrivare al settimo viaggio, ossia nella fase su cui noi non vediamo le marcature...

C.T. DIFESA FREDIANI - A 14 millimetri.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...perché il settimo viaggio, è un dato certo...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...ci ha spiegato che è marcato. Ma quindi per partire da 2 millimetri al settimo viaggio, quindi alla profondità che è scolpita sull'assile, ci vogliono nell'ordine di 30.000 viaggi, lei ci ha detto?

C.T. DIFESA FREDIANI - No, se lui... se lei usasse questa legge nel campo, non ci sarebbe mai propagazione, voglio dire.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ma scusi, 30.000 viaggi vuol dire ottant'anni facendo un viaggio al giorno.

C.T. DIFESA FREDIANI - Più o meno è così.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ho capito.

C.T. DIFESA FREDIANI - Quindi chiaramente nei viaggi precedenti la fessura in realtà non ha... non ha avuto questa velocità, come abbiamo visto stamani. L'ha avuta molto più veloce, tant'è vero che in cinque viaggi ha distrutto l'assile. Non è pensabile che per fare i primi sette ci doveva mettere anni, ecco. Questo è quello che io deduco. Allora, qui riporta ancora alcune osservazioni nella fase 2. La fase 2, ripeto, ancora l'ho messa a sinistra, è la regione di possibile validità della legge di Paris, che è caratterizzata da andamento rettilineo su scala logaritmica. Insomma, sostanzialmente lo vedete sulla figura a sinistra della slide numero 12. Tuttavia le prove condotte presso la Lucchini hanno evidenziato tre distinti campi, tre tratti rettilinei, i quali sono

inconsueti, dal mio punto di vista, nella pratica di laboratorio. Cercherò di farvi vedere. Però la figura che vi riporto qua è tratta non dalla relazione del... dall'appendice del professor Bertini, ma dalla relazione A8 157 dell'ingegner Ghidini. In questa relazione l'ingegner Ghidini non prende... considera un'unica curva, un'unica pendenza e se confrontate le due curve lui prende la pendenza che descrive il comportamento medio della propagazione nel tratto centrale, quello della fase 2. Quindi c'è una visione diversa da parte dell'ingegner Ghidini, che assume... che prende, penso giustamente, in esame una pendenza sola, perché è una pendenza sola quella che caratterizza la propagazione, mentre nel caso del professor Bertini prende i dati che vengono da Lovee pari pari e li elabora in maniera corretta, prendendo dal suo punto di vista tre dati, tre pendenze. Ora, io quello che voglio far vedere è che c'è qualche cosa di anomalo. Dunque, intanto andiamo avanti. Ora mi riferisco alla fase 3. Dunque, la fase 3 è quella... abbiamo visto che è quella del collasso. Siamo nella slide numero 13. Ora ritorno brevemente indietro. Ancora. Ecco, la fase 3, lo vedete nella slide numero 6, è quella... è il tratto a destra, in cui vedete che la velocità diventa molto rapida. E' una zona di K_c , si chiama K critico, cioè quando il fattore di intensità degli sforzi si avvicina a questo la fessura diventa

molto grande. Ora, questa... ecco, se ci ricordiamo quello di stamani, è il campo nel quale è avvenuto il tratto finale. Il viaggio da Trecate a Viareggio è in questo campo qua, è il campo nel quale si sommava... vedete che c'è una velocità di crescita estremamente rapida, che ha prodotto un grande danneggiamento in pochi cicli di carico, fino al collasso... fino al collasso totale, che è proprio rappresentato da questa... da questo campo, da questo tratto. Ora, questo tratto qua in realtà dipende... per descrivere questo tratto bisogna determinare una caratteristica del materiale che si chiama *fracture toughness*, cioè un valore che si chiama K^{1c} , K_c o K^{1c} . Ecco, questo valore è stato determinato nelle prove a Lovere, nelle prove dell'incidente probatorio. E questi sono i provini con i quali sono state effettuate le prove. Si tratta di tre provini. Ecco, qui ci sono i famosi - diceva prima l'Avvocato Ruggeri - i tre pezzi, i tre blocchetti di acciaio che sono stati trovati e sono i provini C.T. fatti a Lovere. Ora osservate che la rottura è avvenuta in questi provini in maniera abbastanza anomala, nel senso che la rottura è stata determinata da un processo di flessione critica, cioè il materiale... nella sezione fessurata che vedete, ve la faccio vedere con il mouse, questa zona, in realtà i valori caratteristici sono quelli che producono il collasso lungo questa sezione tagliata. Qui in realtà fa

alla rovescia. Quindi queste prove sono state fatte in accordo con la ASTM E-399 dello '09, la quale prescrive delle regole con cui si debbono fare le prove, definisce tutti gli standard. In realtà è dubbio che siano valide queste prove in termini rigorosi, però in realtà il regolamento non è... cioè, la E-399 non mi sembra che sia del tutto chiara, ecco, si presta a qualche ambiguità. Di solito le prove fatte in questo modo vengono scartate e si ripetono facendo propagare la fessura con una maggiore lunghezza e poi il collasso avviene lungo diciamo la mezzeria. Di solito si fa così.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, nel suo laboratorio, che lei ci ha spiegato che è uno dei centri con più esperienza in Italia proprio per prove di meccanica della frattura, quindi se i provini si rompono in questo modo che lei ci ha descritto come anomalo si procede a prove ulteriori, a nuove prove secondo delle modalità diverse?

C.T. DIFESA FREDIANI - Di solito per caratterizzare un materiale con un K critico, io queste cose le ho fatte molte volte e poi vi farò vedere... succede a volte che i provini si rompano in questo modo e allora uno fa una quantità di provini maggiore di quella necessariamente... intanto i provini si fanno con un numero minimo di cinque, perché poi questi valori si determinano in maniera statistica, e per fare una statistica il numero

minimo di dati è cinque, per definire una legge, una legge statistica. Quindi il minimo valore sarebbe cinque. Di solito se ne fanno di più perché quando si rompe un provino si ripete la prova, in modo da avere cinque dati affidabili. Qui in realtà è stato fatto questo, ma dal mio punto di vista non è una cosa... è una cosa... un'imperfezione, un po' legata ai metodi che si fanno nell'industria e non nella ricerca, quindi lo trovo congruo da questo punto di vista. Però i valori Kc sono assolutamente criticabili, ecco. Il fatto è che questi valori Kc a noi non interessano per nulla perché, come vi ho detto stamani, anche per evitare... sapevo di questo inconveniente, non abbiamo preso in esame l'ultimo tratto, l'ultimo viaggio, nel quale poi intervengono questi dati che sono strani e quindi non sarebbe nemmeno affidabile l'attività di previsione che dovremmo condurre in questo tratto, quindi in realtà abbiamo tolto il problema, non lo abbiamo considerato e quindi tutta questa questione nel caso nostro non interviene. Però qualcuno li ha introdotti, e vi farò vedere poi in un'altra parte. Un'altra cosa. Ecco, qui la slide... la mia slide è la numero 15, ed è una figura tratta dal documento A8 157 report dell'ingegner Ghidini, pagina 24. Allora, qui vedete la mappa con cui sono stati tagliati i provini nell'assile. I provini sono stati tagliati da una fetta di materiale che si trova nella portata di

calettamento, quindi abbastanza vicina alla zona fessurata. E da questo punto di vista è una cosa positiva, nel senso che il materiale dove è stato ricavato il provino ha caratteristiche molto simili a quello che interviene nella zona in cui si è verificata la frattura, quindi è un fatto corretto. Loro poi hanno preso tre provini a 120 gradi, come vedete, e hanno eseguito gli intagli. Ecco, gli intagli, vedete, sulla figura a destra c'è scritto 120, 140, 0. Allora, voi potete vedere qua questo triangolo, lo indico con il mouse, che è questo. Questo qui è un triangolo che rappresenta il fatto che con delle frese i provini vengono tagliati in questa direzione e in questa direzione, in modo da lasciare un intaglio con una punta. Questa punta serve poi per applicare il carico affaticante e il punto nel quale si innesca la cricca per problemi evidenti, per un fatto evidente, insomma, senza... la cricca nasce di qua. In questo modo quando propaga diventa abbastanza simmetrica, quindi si chiama *chevron*.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, giusto per la chiarezza, sto indicando con un puntatore laser, lei se vuole lo può indicare con il mouse, quindi la foto che vediamo in mezzo a questa diapositiva tratta dalla relazione dell'ingegner Ghidini è il provino nuovo, per così dire, estratto dall'assile.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mentre quelli che vediamo a sinistra nel cerchio rosso sono i provini dopo la prova, ossia dopo che sono stati strappati da questa macchina durante la prova. E' questo?

C.T. DIFESA FREDIANI - È così, sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, qui però vedete una... si può vedere una cosa. Dunque, guardiamo gli *chevron*, cioè gli intagli qua e vediamo di qua. Allora, qui si osserva che la parte... forse ce n'è una positiva... ecco, nella slide numero 16 questa è la parte tagliata, l'intaglio, e questa è la parte di propagazione, fino al collasso finale. Torna un attimo indietro. Guardatelo qua, questo è lo *chevron*. Allora, la propagazione - vi faccio vedere col mouse - avviene nel senso che vi sto indicando, cioè da questo punto verso l'interno. E' chiaro? Quando avviene la propagazione per fatica, essendo l'intaglio... il taglio viene fatto sulla parte esterna dell'assile, cioè verso la parte periferica, mentre integra la parte interna. Allora cosa vuol dire? Che la velocità di propagazione, la legge di propagazione si riferisce al comportamento del materiale verso l'interno, verso il nocciolo interno dell'assile. Ora, può darsi che questo non abbia grande influenza, però dal punto di vista metodologico quando si progettano prove del genere si

vuole determinare la posizione dell'intaglio in modo tale da caratterizzare il materiale nella regione effettiva in cui è importante sapere i dati. Negli assili, come in altri casi di materiali di grande diametro, come in questo caso, la fessura si è propagata essenzialmente sull'esterno, sulla periferia. Avete visto stamani le linee di... le linee di frattura. Quindi è nata sulla periferia, poi è cresciuta, è diventata intorno... fino a racchiudere la zona centrale. Allora è chiaro che i dati di interesse non sono quelli della zona centrale, dove il materiale si è rotto di schianto; sono quelli della zona periferica. Quindi da un punto di vista metodologico uno cosa fa? Fa l'intaglio, lo *chevron* alla rovescia e fa propagare la fessura verso la periferia, in modo tale da prendere i dati nella zona che è più interessante, dal punto di vista della previsione in esame.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi faccia capire: a Lovere hanno determinato le caratteristiche del metallo sulla parte... sul nocciolo dell'assile, ossia quello su cui la cricca propagava durante il dodicesimo-tredicesimo viaggio...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...invece di studiare quello dove è passata la maggior parte della vita di quella cricca?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, è così. Hanno caratterizzato il materiale nella parte interna dove, diciamo, la vita che

ha trascorso l'assile è molto breve, no? Infatti si è rotto (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quindi sarebbe stato scientificamente più corretto ottenere...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...i provini in un modo diverso?

C.T. DIFESA FREDIANI - Probabilmente hanno supposto che il materiale fosse... avesse le stesse caratteristiche all'interno e alla periferia, salvo poi però, a posteriori ovviamente, questo si impara sempre dopo, lo capisco, poi l'ingegner Ghidini ha detto... ci ha fatto vedere poi che la struttura interna del materiale è un po' diversa da quella esterna, tant'è vero che la parte interna, vedendolo con opportuni sistemi ottici, ha rilevato che era costituita da una base, da un elemento quasi quadrangolare, insomma, e il processo di formazione diceva, indicava, poteva indicare almeno - però l'ha visto a posteriori - ecco, che la zona centrale era diversa da quella periferica. Quindi i dati sono stati ricavati sulla zona meno interessante, ecco, da questo punto di vista. Allora, torniamo adesso però al discorso da cui siamo partiti, cioè le domande sulla legge di Paris. Allora, la legge di Paris è adottata per descrivere i fenomeni che hanno due caratteristiche: cioè i carichi sono ad ampiezza costante e sono di trazione. Allora, vediamo, la legge di Paris è nata e si è

concretizzata, con dati di supporto, nel campo aeronautico, nel campo cioè delle strutture aeronautiche e in particolare in due tipi importanti, cioè nelle fusoliere dei velivoli a trasporto, quelle pressurizzate, e nel ventre delle ali, in cui i carichi sono prevalentemente di trazione perché le ali vengono stirate verso l'alto. Allora, in questi casi si verificano le due condizioni per cui la legge di Paris è pienamente applicabile, in alcuni casi. E vediamo in particolare. Dunque, dico questo, io mi sono occupato di queste faccende fin dal 1971, quando ho cominciato la mia tesi di laurea.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, anticipo il Presidente del Tribunale, credo che le sue competenze non siano messe in dubbio.

AVV. MAZZOLA - (voce fuori microfono)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, no, ma non voglio dire quello, no, no, per carità, non sono... volevo solo mettere in evidenza che... guardate questi titoli qua, sono degli anni Settanta e si riferiscono a tre contratti di ricerca che aveva fatto il mio allora Istituto di Aeronautica con un ente dell'aviazione americana che aveva sede a Londra e che dava dei contratti di ricerca per determinare le caratteristiche per validare la legge di Paris, guarda caso, e dava contratti a vari... ad alcuni laboratori

presenti in Europa, compreso il nostro, eravamo fra i pochi scelti, e però i dati venivano diffusi a livello internazionale, quindi avevano accesso russi, cinesi, tutti. Questo era. E questi qui sono dei report che descrivono i risultati di attività relative esattamente alla legge di Paris, a problemi in cui nel 1973 non era completamente chiaro, e vi spiego perché. Non era completamente chiaro se funzionasse perché i modelli teorici per affrontare la legge di Paris erano quelli che bisognava... quello sperimentale, ovviamente, e lì erano un po' rozzi, ma erano anche teorici, perché bisognava avere gli elementi finiti. A Pisa, nella mia università, avevamo l'unico centro di calcolo in Italia, con il calcolatore 7090, e avevamo la possibilità per la prima volta in Italia di fare conti di questo tipo, con le schede, il 7090 lavorava con le schede perforate. Quindi da allora siamo quelli che hanno acquisito, in Italia almeno, una grossa esperienza in questo campo, che ci ha poi aiutato durante gli anni, ecco. Ora io qui vi riporto però... perché nelle fusoliere pressurizzate funziona? Questo è un tema importante, perché poi dobbiamo confrontarlo col discorso dell'assile, senò non ci capiamo. Dunque, le fusoliere dei velivoli commerciali sono dei recipienti in pressione e quindi quando il velivolo è a terra la differenza di pressione fra interno ed esterno è zero, le porte sono aperte, eccetera; quando

va in volo e va ad una quota di crociera, ad esempio 10.000 metri, c'è una pressurizzazione interna che riporta diciamo la pressione atmosferica a un valore tipico, per cui i passeggeri non sentono disagio. A questo punto la pressione interna produce un allargamento omotetico, allargano la fusoliera e quindi stirano il materiale. Stirandolo producono una tensione e quindi per ogni volo c'è un ciclo in cui il materiale viene stirato, parte da zero lo stato di tensione, viene stirato e poi ritorna a terra. Allora, questo ciclo è un ciclo di trazione, perché viene solo stirato, ed è sempre a carico costante. Perché? Perché il velivolo va da zero a una quota di crociera, e fa sempre quello. E questo... in questo caso funziona. Per quello dico che in campo aeronautico l'esperienza serve, nel senso si capisce quando le cose vanno e quando non vanno. E questo è il risultato possibile di cose di questo tipo, quando le cose non vengono fatte bene. Allora, nell'esempio della fusoliera il carico, come dicevo, ha ampiezza costante, è $R=0$. R è il valore fra il carico minimo, come vedete qua in ascisse, a quota zero, al carico massimo in crociera. Il carico è solo di trazione, cioè $P_{\text{minimo}}=0$ e il materiale lavora in campo elastico lineare. Anche questo è un aspetto, perché... ovviamente deve lavorare in campo elastico lineare perché lo dice il regolamento delle costruzioni aeronautiche. Allora, i parametri C ed M , che

sono le costanti del materiale, si determinano per mezzo di prove condotte su provini dello spessore effettivo, cioè sottili, ma non sono effettivi, sono delle lamine tagliate e caricate a trazione. E alle temperature di esercizio, perché anche questo è un aspetto interessante. Questi parametri sono indipendenti dalla frequenza con cui applico i cicli di carico. Ora, nel caso invece del ventre delle ali le cose sono più complicate, perché il ventre delle ali è un po' come il caso presente, cioè l'ampiezza del carico non è sempre... innanzitutto non è sempre di compressione, perché il velivolo a terra... di trazione, scusate, perché quando il velivolo è a terra le ali sono compresse. Ma questo è un livello molto basso per cui possiamo anche evitarlo. Ma quando sono in crociera e sta volando, le manovre del pilota e la turbolenza atmosferica inducono perturbazioni e quindi carichi aggiuntivi. E allora a questo punto non è più vero che la certificazione delle ali si fa con la legge di Paris, perché non è più sufficiente per assicurare la sicurezza, e la legge di Paris viene messa in dubbio, anzi non viene utilizzata se non attraverso una serie di prove sperimentali fatte su degli effettivi pannelli delle ali, sotto cicli di carico che sono quelli tipici di esercizio. Quindi anche nel campo aeronautico non è che viene presa ad occhi chiusi la legge di Paris, nel modo con cui la applichiamo noi, ovviamente. Allora, la

legge di Paris fa parte di un contesto che riguarda la meccanica della frattura lineare elastica, che è un modello semplificato della realtà fisica. La meccanica della frattura è un modello che riassume in qualche modo delle caratteristiche che si sono dimostrate essere verificate nella realtà operativa. E le ipotesi sono che il materiale abbia un comportamento lineare, cioè non abbia un effetto di storia, cioè lavori sempre nel tratto indicato nel circolino in blu nella slide numero 24. In questo tratto, quando io carico il materiale e lo scarico, non c'è tensione residua, non c'è storia, il materiale non ricorda nulla. Ovviamente questa ipotesi è vera fino a un certo punto, perché nella realtà, come dicevo stamani, vicino all'apice della fessura le tensioni teoricamente come questa qui sarebbero infinite. Quindi vuol dire che intorno all'apice si forma una zona che lineare non è ed è lì che questa zona non lineare, cioè questa zona plastica, che mantiene la memoria di quello che è successo nel viaggio di andata, nel caso dell'assile. Allora, cos'è il fattore di intensità degli sforzi? Il fattore di intensità degli sforzi è un parametro, è un parametro che dipende - in un corpo fessurato - da quanto è grande il carico che è applicato e da quanto è grande la fessura. E possiamo definirlo così: cioè è la forza... la forza che tende a produrre l'allungamento della fessura. A tale forza si oppone una

forza resistente che è data dalle caratteristiche del materiale che si chiama *fracture toughness*, oppure resistenza alla propagazione. Allora, dal punto di vista della definizione, dal punto di vista fisico-matematico diciamo, il fattore di intensità degli sforzi indica quanto è grande... quanto è grande il livello di cemento interno nella zona vicino all'apice della fessura, che è rappresentato da questa formula indicata con 2. Cioè dice che... σ_j leggetelo come sforzo del materiale vicino all'apice, nella zona molto ristretta vicino all'apice c'è un cemento del materiale. E dice che questo è proporzionale a un parametro, che è K , il quale dipende da come è fatto il corpo che sta intorno diciamo a questa fessura; poi dipende dalla direzione θ ; θ è un angolo che indica la direzione a partire dall'apice verso cui mi muovo; e poi dipende dalla distanza dall'apice fino al punto che sto considerando; questa tensione è in un punto che sto - per esempio qui - indicando con il mouse, in un punto vicino all'apice, vedete, in quel punto; quindi r è la distanza che separa questo punto dall'apice della cricca. Da lì capite effettivamente che nel caso della meccanica della frattura, cioè quando c'è una cricca con il bordo aguzzo, quando fate tendere a zero questo r al denominatore e diventa sempre più piccolo, questa tensione teoricamente diventa grande e quando r tende a zero diventa infinito. Questo è il concetto. Quello che

dicevo stamani è caratterizzato da questa formuletta semplice, ovvero che quando si forma un apice aguzzo è un mondo che cambia, è come avere una malattia che ci porta avanti settant'anni, poi prendo una malattia improvvisa e avere il collasso. Questo è il punto. Cioè, la presenza della cricca modifica la capacità di resistenza di un pezzo, di un elemento strutturale. Allora, nel caso nostro f_j è una funzione che dipende da θ . Vuol dire che se cambio inclinazione, se prendo rette che cambiano direzione, cioè cambiano assetto rispetto a questo punto, ho dei valori diversi. In particolare, quando mi muovo lungo l'asse x , cioè vedo cosa succede durante la linea di propagazione, questa quantità diventa unitaria, diventa 1. E allora l'espressione diventa più semplice, nel senso che dipende da r , cioè dipende dalla distanza con cui sto lontano dall'apice. Ecco, questo è - voglio dire - il concetto. E questo... questo parametro, attraverso prove sperimentali, io vi ho detto che ho partecipato fino all'inizio degli anni Settanta, riesce a descrivere come propaga una fessura attraverso una legge che ha inventato Paris, che è quella appunto di cui stiamo parlando. Come si fa a determinare il fattore di intensità degli sforzi? Allora, esiste una letteratura, un'ampia letteratura, in cui ci sono varie espressioni a seconda delle forme geometriche, ma questo viene fatto in alcuni casi particolari. Nel caso delle fessure, la cui

forma è stampata sull'assile in esame, cioè nel caso nostro effettivo, in cui la fessura non è piana, i fronti sono quelli che sono e ovviamente ogni incidente di assile ha una forma diversa, non esistono espressioni corrette, espressioni matematiche in letteratura, quindi io non so com'è l'espressione di K in maniera rigorosa, lo so in maniera approssimata, questo sì. Allora, come si fa a trovare l'espressione del fattore di intensità degli sforzi lungo ogni singolo fronte effettivo? Si può fare con i metodi agli elementi finiti. Ora degli elementi finiti io ne ho sentito parlare qui dentro, quindi certamente non mi metto a chiacchierare di questa storia, però, dunque, sugli elementi finiti chi vi parla ci ha lavorato, nel senso... per un codice di calcolo al Cnuce (parola incomprensibile) noi abbiamo fatto un elemento a gusci sottili, la teoria dei (parola incomprensibile), cioè abbiamo lavorato da un punto di vista matematico, e soprattutto l'abbiamo utilizzato. Qui accanto a me c'è il dottor Binante, il quale ha fatto la tesi di laurea, la tesi di dottorato su queste questioni e si è fatto un'esperienza notevole anche lavorando al Cnuce, all'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Informazione, anche dal punto di vista, oltre che matematico, anche computazionale, uso di computer. Allora, un primo modo per determinare - parlo della slide numero 26 - dicevo, un primo modo per misurare quanto vale... quanto vale

punto per punto il fattore di intensità degli sforzi è molto semplice, è molto semplice in qualche senso, ecco, poi diciamo perché può essere semplice o no. Allora, facciamo così, supponiamo che questo sia un provino C.T., così abbiamo esperienza.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, io ho qui un... cioè, il provino C.T. è quel quadratino di metallo di cui lei ci parlava prima?

C.T. DIFESA FREDIANI - È il provino che abbiamo preso prima.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco. Quindi sostanzialmente io qui ho un provino C.T. dei suoi esperimenti. Quindi quello che vediamo disegnato nella parte alta della figura sostanzialmente è mezzo provino?

C.T. DIFESA FREDIANI - E' metà. Esattamente quella metà lì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi è la metà di quel quadratino che vedevamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Si studia la metà, ovviamente...

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quel grafico rappresenta questo pezzo di metallo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Si studia la metà perché essendo tutto simmetrico basta studiarne la metà. Allora, immaginate che dove io metto il mouse, ecco, questo sia l'apice della fessura. La fessura...

AVV. RUGGERI LADERCHI - E' la figura 27, per il verbale. Cioè, siamo sulla diapositiva numero 27.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, mi sembra di averlo... è la slide

numero 27. Allora, immaginate che questo sia l'apice della fessura. Come vedete si fa un raffinamento intorno e poi si prendono degli elementi, che stanno qui intorno. Questa è la fessura, questo è l'apice. Da questa parte il materiale non ha distacco, mentre nella parte destra della fessura in basso ovviamente sotto carico c'è un allontanamento dei punti, di un lembo superiore da quello inferiore. Allora, il modello agli elementi finiti determina come uscita i valori nodali, cioè in questi punti segnati in nero determina quanto si sposta nel senso verticale. Allora, misurando sotto carico, sotto un certo carico, quanto si sposta ad una distanza... prendo un punto ad una distanza r dall'apice, lo vedete rappresentato qua, e chiamo v lo spostamento che interviene fra la posizione iniziale, in cui questo punto era nella mezzeria, a quella finale sotto carico, in cui è spostato in alto, come vedete. Allora, la conoscenza di questo spostamento e la conoscenza ovviamente di quanto dista questo punto dall'apice, ci consente con questa formuletta di trovare K , che è l'unica incognita in un'equazione di primo grado. E' una cosa molto semplice, nel senso che in maniera diretta, conoscendo gli spostamenti, in ogni punto determino questo. Però bisogna stare attenti, perché chi ha esperienza in questo settore sa che le cose possono essere molto pericolose, nel senso che il valore di questa quantità dipende sia dagli

elementi che si usano - qui sono elementi particolari fatti per la meccanica della frattura - ma dipende dall'affinamento. Allora noi non abbiamo usato questo metodo qua per fare i nostri conti, ne abbiamo usato uno diverso. Ne abbiamo usato uno che presuppone un tipo di teoria diversa. Questa teoria si chiama, lo dico per gli esperti, si chiama j -integral, integrale j , e qui vedete una possibile applicazione. L'integrale j , vi faccio vedere, è una formula matematica che deve far riferimento a della matematica che si riferisce ad analisi tensoriale, algebra tensoriale, cioè una particolare forma di matematica che si usa molto nel campo delle strutture e che non fa parte però dei normali corsi che vengono impartiti nei corsi di laurea in ingegneria, presuppongono un'attività tipo dottorato di ricerca, nel caso di Pisa, ecco, in questo caso. Ora io non sto ad elencarvi cosa vuol dire questa roba, però vi voglio dire solo questo. Immaginate di avere una fessura con... cioè un corpo con una fessura, e immaginate di prendere un circuito in cui... un circuito qualsiasi che contiene all'interno l'apice. Cioè, parto da questo punto sul lembo inferiore, faccio un circuito, fino ad arrivare al lembo superiore. Ecco, questo si chiama percorso di integrazione, cioè attraverso questo percorso noi calcoliamo delle grandezze matematiche che sono state espresse nella slide precedente, cioè l'energia di

deformazione, il campo di spostamenti e lo stress interno. Allora, questa quantità - è quello che è importante - gode di una proprietà fondamentale. Primo, che è invariante con il percorso di integrazione. Cioè, io cambio percorso, purché all'interno contengo l'apice, e questa quantità non cambia. Questa è una proprietà rigorosa, quasi un teorema.

P.M. AMODEO - (voce fuori microfono)

PRESIDENTE - Proprio ora che era interessantissimo l'esame.

AVV. PEDONESE - Mi scusi, posso dare atto della mia presenza a verbale? Avvocato Pedonese.

PRESIDENTE - Avvocato Pedonese.

AVV. PEDONESE - Sono arrivata nel pomeriggio. Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso? Allora, la cosa per cui... la ragione per cui abbiamo scelto di non utilizzare la forma semplice per determinare il fattore di intensità degli sforzi è che in quella forma io non ho nessuna possibilità di valutare l'errore che posso fare e se faccio errori. Ora io parlo della slide numero 30 e utilizzo delle proprietà di cui gode questa grandezza, che è stata introdotta nel 1966 da Rais(?). Primo, che è invariante secondo il percorso, cioè cambiando percorso il valore finale, che è uno scalare, non varia. Secondo, il calcolo è molto stabile e affidabile, nel senso che non dipende in maniera esagerata dal raffinamento intorno all'apice della fessura. E terzo, che io posso

determinare il fattore di intensità degli sforzi attraverso la conoscenza di questo oggetto qua, attraverso queste equazioni, che mi raccontano che j , questa grandezza relativa ad ogni percorso di integrazione, per cui è invariante, è proporzionale al quadrato del fattore di intensità degli sforzi. Cioè, quando io conosca questa grandezza - e è un parametro del materiale, si chiama modulo elastico, cioè è una costante del materiale - e quindi conosco... K lo ottengo come la radice quadrata di e moltiplicato j , in maniera banale. Nel caso nostro, siccome c'è uno stato piano di deformazione, vale la seconda, ma è lo stesso. C'è una costante di mezzo. Allora, questo perché? Perché abbiamo utilizzato questa procedura? Perché dal punto di vista metodologico noi volevamo essere sicuri che i calcoli fossero affidabili e per essere sicuri che i calcoli fossero affidabili abbiamo verificato che nei nostri conti l'integrale j fosse realmente invariante con il percorso di integrazione. Abbiamo scelto diversi percorsi, abbiamo verificato, abbiamo fatto una mesh, fino a quando i percorsi non erano sostanzialmente uguali al centesimo, a questo punto eravamo sicuri che i calcoli erano fatti bene, erano corretti, e quindi abbiamo utilizzato per K questa formula.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, cerco di volgarizzare a un livello... cioè, lei sostanzialmente ci

sta dicendo che questo era il modo più affidabile e verificabile, questi calcoli, utilizzando questo j-integral era il modo più affidabile per poter calcolare il fattore di intensificazione degli sforzi che si applicava in ciascun momento su ciascun punto della frattura? E' questo? Cioè, voi avete...

C.T. DIFESA FREDIANI - E' così.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Tutto questo è sostanzialmente la spiegazione matematica di questo metodo che lei ci ha spiegato è il più affidabile per calcolare il FIS.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' il modo che abbiamo ritenuto più affidabile avendone la dimostrazione attraverso un fatto apparentemente accessorio ma fondamentale, cioè un'invarianza del percorso. Allora, torniamo all'assile, che qui... appunto poi abbiamo applicato questo metodo all'assile. Allora, per ogni fronte... allora, considerate, prendiamo in esame un generico fronte della propagazione. Allora, per ogni generico fronte abbiamo fatto un modello solido agli elementi finiti, definendo lungo il fronte diversi punti di riferimento, diversi nodi, come dire. In ogni punto del fronte abbiamo definito dei piani sui quali abbiamo caratterizzato il percorso j con un certo numero di percorsi, in modo tale da verificare la bontà, la invarianza di ciascuno in ogni piano. Quindi in ogni punto del fronte abbiamo preso un piano, su questo piano abbiamo individuato diversi

percorsi, una dozzina, abbiamo verificato che l'integrale j fosse invariante lungo questi percorsi. E questo era diciamo la prova della qualità del nostro modello matematico. Non so se sono stato chiaro. Allora, ora vi anticipo che poi vi farò vedere i casi particolari. A fronte di piccoli spostamenti, che avvengono sempre nel primo percorso di integrazione e nell'ultimo - e lo sappiamo - tutta la zona centrale, diciamo 9-10 su 12, sono assolutamente invarianti e le variazioni sono molto piccole in quegli altri. Quindi abbiamo individuato un modo corretto per condurre questi calcoli. Ecco, questo è un titolo, "esempio del provino C.T." di cui vi parlavo in precedenza. Questa è la slide numero 32. E questi sono i dodici percorsi di integrazione che abbiamo fatto in questo caso.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, quindi... perché, diciamo... ci illustri un attimino. Noi stiamo guardando di nuovo un disegno che illustra il nostro provino C.T., il pezzo di metallo, e ogni numero quindi... voi avete rimisurato questo j -integral dodici volte e ogni numero qui ripreso sulla slide è uno di questi percorsi di integrazione?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E sulla base...

C.T. DIFESA FREDIANI - È esattamente così, soltanto che essendo metà provino abbiamo moltiplicato per 2 per

tenere conto della simmetria dell'altra parte. Tutto qua. Ora, questo è solo un esempio, ecco, perché mi torna bene, visto che abbiamo introdotto il percorso... il provino C.T. è solo un esempio, ma poi vi farò vedere invece il percorso di integrazione nel caso delle fessure presenti sull'assile, che è una cosa un po' più complicata, ovviamente, meno facile di questa. Ecco, io qui ho riportato una serie di attività che ho condotto sul j -integral. Mi sono occupato da molti anni di queste faccende, sia dal punto di vista...

PRESIDENTE - Va bene, questo...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...fisico-matematico che di altri.

PRESIDENTE - Questo ce lo leggiamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Le lascio qui, diciamo a verbale, ecco, sostanzialmente.

AVV. MASUCCI - Presidente, chiedo scusa, non voglio interrompere, ho l'esigenza di allontanarmi e indicherei in sostituzione l'Avvocato Moscardini. Grazie.

PRESIDENTE - Moscardini è a disposizione...

AVV. DE CARLO - Stessa cosa per l'Avvocato De Carlo.

PRESIDENTE - E' un generoso l'Avvocato Moscardini. Allora...

C.T. DIFESA FREDIANI - C'è una piccola... una piccola... una piccola attenzione che abbiamo fatto, che all'interno del provino... all'interno dell'assile valgono le condizioni di *plane strain*, cioè una particolare condizione che è tipica dei provini C.T. e sulla periferia vale la

condizione di *plane strain*. Insomma, è un fatto tecnico, lo dico solo per gli esperti, per i miei colleghi, ecco. Come ho già ricordato, nelle simulazioni agli elementi finiti la superficie di frattura è modellata come nella sua forma effettiva, cioè non è piana. Ecco, questo è un tipico esempio, è uno schema. Ecco, qui siamo ritornati, abbiamo fatto il giro e siamo ritornati ai fronti di fessura, in cui vedete che...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, sono ancora alla slide precedente. Ecco...

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, la slide 38 è una schema generale.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco, lei stamattina ci aveva fatto vedere come era convessa la superficie di frattura, come avete misurato questa convessità e ci ha spiegato perché era erroneo da parte degli altri considerare che fosse piatta perché piatta non era. Quindi con questa figura 38 lei ci sta indicando che nei vostri calcoli invece voi avete tenuto conto della convessità della superficie?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ovviamente, sì, sì. Però l'ho rappresentata così in maniera qualitativa perché facendo vedere... messa in questo senso la profondità non si vede, ecco, per questo ho aggiunto la slide numero 38, per far capire che la curva... la superficie (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ma ecco, mi scusi, forse sono io che

sono lento, quello che vorrei capire: per quanto qui nei grafici, ad esempio nella sua diapositiva 39 ovviamente, essendo un disegno è piatto, però nei calcoli avete tenuto conto...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...del fatto che era una scodella, diciamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - È così.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ripeto, qui non potevamo farlo. Ecco. Allora, vediamo, il nostro fronte di fessura presenta... ogni fronte di fessura presenta un certo numero di punti, come vedete. Questi sono punti in cui abbiamo fatto passare dei nodi della struttura e abbiamo definito dei piani in ciascuno di questi e in ciascuno di questi abbiamo calcolato dodici volte il percorso di integrazione e l'integrale-j. Questo per dire i conti carta e penna di cui si parlava stamani. Ecco, questa è una tipica griglia nel caso di una tipica fessura, che è quella da 14,2 millimetri. L'ho indicata perché qui compare un parametro S , è un parametro che varia da 0 fino al 100 per cento. Il punto 0 rappresenta il punto sulla superficie, il punto estremo sulla sinistra della cricca. E invece il punto 100 per cento diciamo riguarda il punto estremo sulla destra. Allora, facendo variare, ogni punto qui dentro è individuato da un valore di

questo parametro, diciamo (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, stiamo guardando... quindi la sua diapositiva 40 si riferisce al fronte reale relativo al settimo viaggio.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quindi qui è la rappresentazione al computer agli elementi finiti. Però ci conferma che questo è il fronte reale del settimo viaggio?

C.T. DIFESA FREDIANI - Questo è il fronte reale con la profondità di 14... il settimo... la fine del settimo viaggio.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ho capito. E rispetto a questo...

C.T. DIFESA FREDIANI - Con una profondità di 14...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...voi avete preso 14 punti e rispetto a ciascuno dei 14 punti avete rifatto il calcolo del j-integral dodici volte?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ora i punti se siano 14 o meno non me lo ricordo. E' un certo numero di punti, ecco, quelli che vedete, ecco. I punti...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Nella figura 37 (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - Se li ha contati, non lo so. Li ha contati, 14...?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - In questo caso... ma poi sono di più, perché ovviamente la lunghezza è più grande, ecco, lo

sviluppo della fessura è più grande. E questo è il modello con la superficie fratturata, è il modello agli elementi finiti. Questa è una sezione, è una tipica mesh relativa all'assile e qui fa vedere una proiezione della concavità, ma insomma, è un aspetto secondario. Lo vedete, ecco, da qui, ecco, con il mouse vi faccio vedere che la fessura non è... sta su un piano ma, vedete, sta... è una superficie non piana. Allora, prendiamo per esempio la prima fessura, 14,2 millimetri. Allora, qui sulla sinistra - parlo della slide numero 43 - sulla sinistra trovate il valore del fattore di intensità degli sforzi per un carico unitario applicato al provino... applicato all'assile. E qui vedete i punti che vanno da -85 a +75, che sono in termini di gradi, l'abbiamo preso in termini angolari. Comunque, in ogni caso, questi puntini sulla sinistra nella fessura B rappresentano i valori del fattore di intensità degli sforzi in tutti i punti che abbiamo considerato qua sopra. Questo invece sulla destra è la stessa quantità ma divisa per un'altra grandezza, che è K massimo. Ma il concetto è lo stesso. Vedremo che queste sono comodità di carattere matematico per adeguarci ai calcoli fatti da altri in particolare, per esempio al professor Bertini, che è l'unico che ho visto ha condotto calcoli dichiarando ipotesi e così via, correttamente, ecco. E' l'unico caso che ho visto, insomma, e ne do atto, ecco. Quindi per adeguarci a

quello standard, a quel tipo di rappresentazione, abbiamo dimensionalizzato in quel modo, in modo tale da avere un confronto, ecco. Ecco, questi sono i valori del j -integral in tutti i punti del fronte di fessura, di cui abbiamo dedotto con quella formula precedente $j=K^2 l-...$ eccetera, che è una costante. Questi sono i diversi fattori K con diversa dimensionalizzazione. Questi sono... nella colonna avete tutti i punti del fronte. Questa invece è una fessura più grande, è quella successiva, 21. E guardate che il fattore di intensità degli sforzi non è più costante come prima, cioè all'interno, nella zona al 50 per cento della lunghezza del fronte, cioè $s = 0,5$ vedete, qui l'abbiamo rappresentata i percentuale della lunghezza del fronte, vedete che c'è un picco, tende ad avere un valore massimo. Noi abbiamo sempre fatto riferimento a questo picco, ed è quello che caratterizza quel valore che vi dicevo stamani, che si trova nella mezzeria, in quella striscia di mezzeria, e abbiamo verificato che più o meno è vero. Allora, se andiamo in questa striscia di mezzeria, questo è il valore del fattore di intensità degli sforzi - nella slide numero 45 - relativa ad una lunghezza di 21,3 millimetri misurata nella zona centrale, come avevamo detto stamani. E questi sono i due modi con cui abbiamo dimensionalizzato questa grandezza. Questa è la relativa tabella. E questa è la fessura

successiva, 24. Ecco, vedete, la fessura è quella effettiva, la concavità abbiamo preso quella giusta, i punti sono un numero di punti in questa... lungo questo fronte e in ogni fronte abbiamo il fattore di intensità degli sforzi. Quindi non l'abbiamo determinato in un punto solo, l'abbiamo fatto dappertutto e abbiamo verificato che in corrispondenza del 50 per cento abbiamo, vedete, una zona di massimo, che ci racconta che sostanzialmente... sostanzialmente è giusto prendere come linea di riferimento una striscia verticale che passa dalla fessura iniziale. Questa è ancora... questa è ancora la tabella, in forma tabellare. Questi sono ancora i valori delle figure successive. Questo è il complesso dei calcoli che abbiamo fatto. Ora non vi sto a rappresentare...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi, professore, prendo atto che lei...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...non ha cestinato i suoi calcoli e mi sembra anche forse che... no, lei ci diceva che altri hanno dichiarato di aver cestinato i loro calcoli. Lei i suoi calcoli li ha messi a disposizione e sicuramente in sede di controesame le potranno chiedere tutto quello che vogliono su questi calcoli. Ma volevo capire: questi calcoli di cui lei ora ci ha dato degli esempi, quindi ogni linea, guardo ad esempio la sua diapositiva

precedente, per ogni fronte voi avete guardato tutti questi punti e per ogni punto avete rifatto il calcolo dodici volte? E' questo?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ogni volta, sì. Per dodici percorsi di integrazione. Ogni punto contiene dodici percorsi di integrazione, dai quali abbiamo estratto la media, verificato l'invarianza, e abbiamo scelto un valore solo del fattore di intensità degli sforzi. Ora comunque lo vediamo nella slide successiva che io vi presento ora, a cui ero arrivato. Ecco.

AVV. MUCCIARELLI - (voce fuori microfono)

C.T. DIFESA FREDIANI - Non ho sentito.

AVV. MUCCIARELLI - Non ci facesse vedere i dodici percorsi di integrazione per ciascun punto, li mettiamo a disposizione.

PRESIDENTE - Sì, infatti.

C.T. DIFESA FREDIANI - No, no, no.

PRESIDENTE - Il suggerimento mi sembra molto prezioso, dell'Avvocato Mucciarelli, perché tutti i dati, i dati più tecnici, quelli matematici, quelli... ce li leggeremo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco, io proporrei che (sovrapposizione di voci)...

AVV. MUCCIARELLI - Credevo che li desiderasse vedere, invece.

PRESIDENTE - Come?

AVV. MUCCIARELLI - Credevo che... quando lei ha preso la

parola subito dopo che avevo finito di parlare, lei dicesse "no assolutamente"...

PRESIDENTE - No...

AVV. MUCCIARELLI - ..."passiamo all'esame di ciascuno dei percorsi di integrazione".

AVV. RUGGERI LADERCHI - Allora io forse proporrei, se non ve ne avete a male, professore, che ovviamente lei non ci spieghi i percorsi di integrazione su tutte le centinaia di punti che ha verificato, ma ci indica solo qual è la metodologia, come mi sembra stia facendo in questa sua diapositiva 55. Ci indica qual è la metodologia, ma ovviamente non possiamo farlo per ciascun punto.

C.T. DIFESA FREDIANI - No, ma non è neanche interessante. Ma nella slide 55 vi do un esempio riassuntivo, ovviamente. Dunque, avete delle colonne e delle righe. Dunque, le singole righe, letto secondo le righe, sono i dodici percorsi di integrazione, che qui rappresento schematicamente. Nelle colonne avete $s=0$ fino a $s=1$ tutti i punti sul fronte di integrazione, sul fronte della fessura. Quindi avete 1, 2, 3, 4... insomma, ogni colonna rappresenta un punto sul fronte e ogni percorso viene riportato sulla colonna. Per esempio, guardate $s=0$; con $s=0$ trovate il primo percorso, 1,42, 1,41, e poi tutti 1,40 fino... vedete, il primo e l'ultimo differiscono un pochino e tutto il resto sono esattamente costanti fino alla seconda cifra decimale, sui centesimi. E lo potete

verificare su tutti i percorsi di integrazione, dal primo fino all'ultimo, quindi piccole oscillazioni il primo e l'ultimo, ma è noto per chi si occupa di queste cose. E quindi il valore è molto costante, come vedete è assolutamente invariante, e da questo valore siamo sicuri che i conti, i calcoli che abbiamo fatto, siccome questo è un teorema di carattere fisico-matematico, che si riferisce al materiale elastico-lineare, come stiamo assumendo, e questa è la riprova della correttezza dei conti che abbiamo fatto. Ci hanno portato via un po' di tempo, ecco, questo, come si può immaginare. Però... scusate...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mentre si rischiarà la voce, professore, quindi praticamente questa costanza dei dodici percorsi di integrazione è un po' la prova del 9 che avete fatto i conti bene?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, per noi questa è la prova del 9 che abbiamo fatto i conti correttamente. E' stato soddisfacente per noi, ecco, arrivare a questo. Prima no. Dovevamo essere sicuri insomma metodologicamente che era corretto. Allora, tutto questo lavoro però si riassume in questo grafico della slide numero 56, in cui abbiamo riportato il fattore di intensità degli sforzi relativo... dimensionalizzato con il carico, che è una funzione che dipende solo dalla lunghezze di fessura, lungo i fronti che avevamo a disposizione, partendo da 14

e così via. Abbiamo preso anche un... dunque, il secondo punto è 14, il resto sono i punti che abbiamo preso. Il terzo... questo qui lo abbiamo preso come riferimento per vedere alla fine se era corretto assumere una certa forma e quale andamento potesse avere il fattore di intensità degli sforzi in corrispondenza di questo punto. Ora, noi sapevamo, abbiamo visto stamani come la lunghezza di fessura calcolata per certe... lo abbiamo dedotto in maniera sperimentale. Quindi potevamo anche fare i conti. Ma siamo partiti da 14 in poi, che sono i fronti reali, cioè i punti... i punti effettivi. E questa è la funzione che si ottiene attraverso questo complesso di calcoli. Allora, qui lo dico per gli specialisti che sono presenti, che spero vorranno anche confrontare, voglio dire, allora qui abbiamo riportato una funzionalità dimensionale, cioè una cosa che non dipende dalle dimensioni, se usiamo metri, chilometri e così via, che è la funzione geometrica, insomma, che ci indica come variando il fattore di intensità degli sforzi questo rapporto K diviso σ (parola incomprensibile) cambia. Il riferimento... abbiamo preso dal professor Bertini e da altri. Quindi il fattore... vedete in basso, la formula numero 8 ci racconta che il fattore di intensità degli sforzi per una certa lunghezza a è esprimibile da questa funzione che è di secondo grado, è una parabola, moltiplicato per una tensione di riferimento che è

costante, e per la fessura invece che costante non è, che cambia di volta in volta. Quindi il fattore di intensità degli sforzi, la sua espressione matematica voglio dire, dipende sia com'è fatta f di a e sia quanto vale a sotto radice quadrata. Allora... allora, in questo modo questa è la forma che si ottiene attraverso quei calcoli precedenti, che hanno alla base - nella figura... nella slide numero 58, la figura a sinistra - hanno alla base il complesso dei calcoli fatti sui fronti di fessura che ho rappresentato nella stessa slide. E abbiamo tirato fuori un polinomio interpolante, con le regole della matematica, dei minimi quadrati, che è quella la funzione del secondo ordine. Allora, ritorniamo al problema matematico. Qual è? Dunque, noi partiamo assumendo che sia valida la legge di Paris e andiamo avanti facendo i calcoli per vedere le conseguenze che abbiamo. Allora, quali sono i dati? I dati sono: la lunghezza finale della fessura, e cioè quella di 60 millimetri e rotti. Poi il numero dei cicli finali, pari a 12 volte per 308.000, che sono circa... meno di 4, 3 milioni e mezzo, 4 milioni di cicli, quello che è. Poi abbiamo il numero iniziale di cicli, che è n_0 , che abbiamo assunto 0. Mentre qual è il problema? Il problema è che non conosciamo la lunghezza iniziale della fessura. E questo è il problema a cui ci stiamo affannando tutti. Allora, così impostato assumiamo la legge di Paris, allora, scritta in questo modo, in cui

c ed m sono i valori determinati da prove sperimentali, sperimentali tratti dai provini di Lovere o meno. Allora, il ΔK che compare qua, nella legge di Paris, supposto che valga per carichi solo di trazione e ad ampiezza costante, perché quella è l'ipotesi unica che possiamo fare, quindi noi stiamo assumendo che trascuriamo tutti i carichi di compressione, supponiamo che non ci siano e consideriamo solo la parte in trazione, cioè 0,10 tonnellate, mentre in realtà è +10 tonnellate/-10 tonnellate. Nell'ipotesi che consideriamo l'oscillazione fra 0 e 10 tonnellate, quindi è la slide numero 60, scrivo cosa intendiamo per ΔK . Cioè, K massimo - 0 nei viaggi a pieno carico, dove al posto di K massimo ci metto le 10 tonnellate e al posto di K minimo ci metto 0. E K minimo meno 0 nei viaggi a tara, cioè K minimo è quello quando c'è il viaggio di ritorno. E la forza, cioè il carico che è presente su ogni ruota è la metà, insomma, anzi meno, è il 42 per cento, 4 tonnellate. Allora, i parametri c ed m in questa legge che abbiamo scritto prima sono assunti, come di consueto, costanti del materiale, da determinare mediante prove di frattura su provini standard, che sono quelli C.T. di cui abbiamo parlato fino adesso. Allora, qui... scusate un attimo. Mi riferisco ora alla slide numero 62. Il titolo è "La determinazione sperimentale dei parametri costitutivi "c" ed "m"". Allora, presso la società Lucchini in sede di

incidente probatorio sono state condotte delle prove per caratterizzare il materiale dell'assile 98331 con un metodo che si chiama... attraverso una misura che si chiama *crack opening displacement*, o detto anche normalmente COD. Allora, questa misura si basa su un criterio che è molto usato anche a livello normativo, ma soprattutto in campo industriale, per il quale le normative cercano di definire delle regole che sono facilmente applicabili e facilmente replicabili - questa è un po' l'idea delle normative - e in cui conoscendo il *crack opening*, vuol dire l'apertura, di quanto si aprono i lembi del provino C.T., si riesce a determinare la lunghezza di fessura e anche il fattore di intensità degli sforzi. Quindi da un punto di vista pratico, ecco, consiste nel prendere uno strumento, posizionarlo sulla bocca del provino C.T., farlo propagare e guardare il segnale di questo oggetto. E da lì si ricava tutto. Questa è la slide che vi ho mostrato in precedenza. La mia slide è la numero... in questo caso è la numero 63 e riproduce una figura, una pagina tratta dal report A8 157 a firma dell'ingegner Ghidini, che è la pagina numero 12, se non ho sbagliato, che riporta appunto come sono fatti i provini. Vi ho già detto che essi determinano le caratteristiche verso il centro, cioè nella zona centrale e non periferica, ma insomma, supponiamo che questo abbia poca importanza, assumiamolo ecco, diamolo per buono

insomma. Però quello che non è facile dare per buono è questa... è quello che si riferisce a questa prova qua. Ecco, vi prego di osservare bene questa foto, che...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, ci può dire che cosa vediamo nella foto?

C.T. DIFESA FREDIANI - La foto è la DSC_80...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Questa è la macchina di Lovere?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, la foto è la DSC_8032 nella slide numero 64 ed è una foto...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, che rappresenta? Cosa rappresenta questa... questa foto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Questa foto rappresenta la metodologia utilizzata per fare queste prove. Dunque, voi vedete qui delle ganasce, una superiore ed una inferiore, con dei perni. Questi perni vanno ad inserirsi dentro i fori dei provini C.T. che abbiamo visto in precedenza, cioè in questi fori qua, questo e questo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore scusi, la devo interrompere. Questa macchina con i perni che ci sta... questa macchina con i perni nella sua diapositiva 64 è la macchina utilizzata dalla società Lucchini a Lovere o è...?

C.T. DIFESA FREDIANI - No, no, questa è la macchina utilizzata da Lucchini a Lovere, certamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Io ho visto...

P.M. GIANNINO - Presidente, c'è opposizione... c'è opposizione a queste domande, poiché si tratta di accertamenti ai quali il consulente ha partecipato e mai ha obiettato, pur potendolo fare in quella sede, l'erroneità della metodica e delle macchine utilizzate. Quindi che venga fatto oggi, a risultati ottenuti, e non si sia mai opposto nessuno prima che venisse utilizzata la macchina, che in contraddittorio è stata ovviamente individuata, mi sembra non ammissibile oggi la domanda. Si sarebbero dovuti svolgere rilievi sul tipo di metodo e sul tipo di macchina al momento in cui i periti e i tecnici Lucchini iniziavano l'esperimento concordato con tutti i tecnici presenti.

PRESIDENTE - E' respinta l'obiezione. Possiamo procedere.

C.T. DIFESA FREDIANI - Eh, ma io cosa devo fare? Dunque...

PRESIDENTE - Un po' più di concretezza, quella sì, sarebbe gradita, però...

C.T. DIFESA FREDIANI - Devo rispondere a...

PRESIDENTE - Alla domanda. Perché si diceva...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, continui a...

PRESIDENTE - Deve rispondere con un po' più di concretezza, diciamo, per il Collegio potrebbe essere più... anche più utile.

C.T. DIFESA FREDIANI - La concretezza...

PRESIDENTE - Comunque non la voglio... non la vogliamo condizionare, vada come ritiene insieme alle difese.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, intanto devo dire che io non... nessuno di noi aveva la possibilità di mettere... di entrare nel merito del modo con cui venivano fatte le prove a Lovere presso la Lucchini.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, risponda, continui con l'esposizione, con le sue critiche della metodica. L'obiezione del signor Pubblico Ministero è stata rigettata e non sta a lei rispondere all'obiezione del Pubblico Ministero.

C.T. DIFESA FREDIANI - Io vi chiedo scusa perché non sono pratico.

PRESIDENTE - Non è pratico (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, continui invece a presentare le sue considerazioni...

PRESIDENTE - Avvocato, Avvocato, ci perdoni.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dottor Giannino chiedo scusa, ma...

PRESIDENTE - Stava dando un chiarimento sul metodo utilizzato. Lei stava semplicemente dicendo che quando eravate alla Lucchini... prosegua il concetto che stava esprimendo, quello...

C.T. DIFESA FREDIANI - Quando eravamo...?

PRESIDENTE - Stava facendo una... stava dando una risposta, stava spiegando perché non avete fatto obiezioni in quella sede. Visto che lo stava dicendo, se vuole completare il pensiero.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ah, no, quello lo spiego subito. Perché

quando sono andato a vedere le prove erano già comin...
cioè, non mi è stato chie... cioè, quando siamo andati a
vedere questo le prove erano già fatte, quindi boh,
nessuno ci ha chiesto come si fanno le prove.

PRESIDENTE - D'accordo. Possiamo proseguire.

C.T. DIFESA FREDIANI - Cioè...

PRESIDENTE - Possiamo andare avanti.

C.T. DIFESA FREDIANI - Andiamo avanti. Io non... non
c'entravamo niente con quello. Quello veniva deciso da
Lucchini, dal professor Vangi, ma non certamente da noi.
Allora, comunque vado avanti. Quello che voglio rilevare,
a posteriori evidentemente, a questo punto, è questo:
guardate questo oggetto, questo si chiama... è un
estensimetro ed è il sistema con cui io misuro l'apertura
della bocca dei provini C.T. che abbiamo visto in
precedenza. Questo oggetto è fatto da due lamelle, come
vedete. Queste lamelle sono provviste di elementi che si
chiamano estensimetri, i quali sono posizionati su un
ponte, su un sistema che si chiama Ponte di Wheatstone,
che dà in uscita un segnale che dipende dal valore dello
spostamento misurato. Ora è chiaro che questi
estensimetri sono delle resistenze elettriche, le quali
vengono poste sulla barretta e che sentono la deformata
della barretta. Se la barretta si deforma esclusivamente
per l'apertura della fessura va bene; se la barretta
sente, oltre che la lunghezza dell'apertura, anche la

dinamica, perché questo oggetto sta oscillando a 14 Hertz e quindi la barretta strumentata sente, cioè percepisce, il segnale sia dovuto all'apertura, sia il segnale dovuto alla dinamica di questo oggetto che sta oscillando. Non solo. Ma non è stato nemmeno fatto caso al fatto che questi cavi, che sono penzoloni, oscillano, oscillano insieme a questo oggetto qua, e falsano, dal punto di vista metodologico... io quanto sia grande o piccolo non lo so, ma dal punto di vista metodologico non si fa così, nel senso che si fa in modo che la dinamica di questo qui sia ridotta il più possibile per eliminare il più possibile l'errore che consegue al fatto che questo balla avanti e indietro. E questo potrebbe essere una causa per cui all'aumentare dell'ampiezza dell'oscillazione cambia anche diciamo la frequenza propria di questo oggetto. E quindi c'è un sistema, ecco, nel complesso, che a mio parere non è soddisfacente. Ma ripeto, io non potevo farci niente perché ci hanno portato a vedere le prove quando le prove funzionavano, ecco. Allora, ecco, per riepilogare, l'idea è che io attraverso la misura di questo COD osservo tutto, per cui bisogna stare attenti perché se la misura del COD effettua un errore influenza tutto, sia il fattore di intensità degli sforzi, sia la previsione della lunghezza di fessura. E' un sistema molto delicato che funziona benissimo in campo industriale, perché lì devo confrontare i provini, cioè

devo confrontare i materiali da un badge... da una fornitura all'altra, e quindi il fatto che abbia degli errori sistematici non conta, nel senso che conta la relazione fra i due. Quello che io osservo è che qui non stiamo parlando di questo, stiamo parlando di quanto vale esattamente questa roba, cioè non a confronto con altre. E da questi valori c ed m dipende tutto, dipende in sostanza la descrizione del fenomeno. Quindi da questo punto di vista noi ci siamo posti la questione di ripetere, nel mio dipartimento, con delle metodologie scientifiche però, di ricerca scientifica, prove analoghe a queste per vedere se effettivamente si ottenevano risultati tipo tre tratti separati fra loro, oppure no. Perché la letteratura, tutto il mondo, tutto il mondo delle conoscenze ci dice che questo non è mai successo, che nella zona di propagazione c'è una pendenza sola, tant'è vero che si usano dei tratti di ΔK diversi e poi si estrapola la legge per tutto il campo. Poi lo verificiamo anche a posteriori, insomma.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, lei ricorderà - se non lo ricorda lei lo ricorda certamente il Tribunale - io stesso in sede di controesame dell'ingegner Ghidini gli chiesi conto di queste circostanze e lui ci disse, riassumo, che si trattava di una tecnica industriale che loro utilizzano, con i loro computer, fa parte della loro attività industriale di produttore di assili. Cioè, non

capisco, lei sta criticando questa tecnica utilizzata, questo apparecchio utilizzato dalla Lucchini? E' inadeguato per una ricerca scientifica, a suo giudizio?

C.T. DIFESA FREDIANI - No, a dire il vero io non sto criticando. Cioè, a livello industriale trovo che sia ragionevole fare come fanno in questo caso. Trovo però che il caso in esame non è un'attività industriale che serve per caratterizzare confrontando materiali qual è migliore, qual è minore, e così via; è una cosa molto più delicata, molto più precisa, tanto è vero che - questo c'erano anche, non so, dei testimoni - io quando fui chiamato ho visto queste prove e nell'oscilloscopio... nell'oscilloscopio... nel voltmetro(?) digitale che c'era, c'erano delle fortissime oscillazioni del segnale in uscita. Io dissi che mi sembrava un po' anomalo, perché non sono abituato a vedere il segnale in uscita da un Ponte di Wheatstone che oscilla con grandi... con grandi tensioni, positiva e negativa fra l'altro, e quindi feci notare che mi sorprendevo, ecco. Però... però mi dissero che in realtà loro usano un software standard, il quale utilizza anche ampi segnali e fa delle medie, quindi riduce i dati. Cioè, anche se l'ampiezza è grande, poi fa la media e quindi riporta il segnale ad un valore più o meno plausibile, medio però. Però quello che osservavo è che un conto è fare la media tra 1.000 e -1.000 e dire che la media è 0 e un conto è dire che è 0

fra 0,1 e -0,1, che è un po' diverso. Cioè, la qualità della media e, diciamo, la qualità della previsione è un po' diversa, ecco. Ma comunque, voglio dire, noi abbiamo ripetuto queste prove, perché avevamo il sentore che ci fosse qualcosa che non andava e quindi ve le proponiamo, ecco. Poi ognuno può... Dunque, queste prove però le abbiamo condotte con una tecnica diversa. E' una tecnica che è stata messa a punto durante varie attività a livello internazionale.

PRESIDENTE - Professore scusi... professore scusi, queste prove...

C.T. DIFESA FREDIANI - Mi riferisco in particolare a un progetto...

PRESIDENTE - Scusi, queste prove le avete svolte in solitudine, senza contraddittorio intendiamo dire, da voi?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì, sì, sì, sì.

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì, sì.

PRESIDENTE - Va bene. Prego.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì, le abbiamo fatte internamente. Erano prove mie, perché volevo capirci qualcosa.

AVV. MUCCIARELLI - Chiedo scusa, chiedo scusa, ovviamente sì, sono prove che hanno fatto nei loro laboratori, ma come si diceva all'inizio, stamattina, tutto è disponibile per riverifica e controllo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ovviamente, ovviamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Signor Presidente, proprio ai fini della verifica, diciamo, ci sarà poi... a parte che è tutto documentato in grande dettaglio nella relazione che fu a suo tempo depositata in indagini preliminari, che depositeremo all'esito dell'esame del... diciamo dell'escussione del consulente; ci sono anche a disposizione e provvederemo a depositare anche i provini, in modo che tutti possano confrontarsi su questi provini, misurare, misurare tutti gli elementi, cosa che... appunto, è tutto assolutamente documentato, documentabile, verificabile, controllabile e ripetibile.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, dicevo che... vorrei spiegare la fonte di questa procedura, perché è punto essenziale. La fonte è un progetto europeo in cui abbiamo partecipato come Dipartimento di Ingegneria Spaziale e come subcontractor(?) di FIAT Avio, i cui partner erano produttori di motori per aeromobili, per aeroplani. C'era Fiat Avio, German Aerospace Center, Rolls-Royce Turboméca, Snecma, Università del Galles. Durante questo... durante questo progetto l'obiettivo era di mettere a punto delle tecnologie fatte per attività di ricerca con grande precisione perché dovevano valere, come vi ho detto Presidente ima, per i motori di aviazione, per i dischi delle turbine. Ogni disco costa, anche piccolo, una trentina di milioni a quel tempo, ed è un oggetto grosso così. Quindi è chiaro che i costi di

queste... giustificavano degli investimenti ovviamente nella qualità della sperimentazione, che è un ambiente tutto diverso da quello che abbiamo visto prima, ovviamente nei pezzi di ferro o nei provini C.T., ecco. Allora, qui mi sono... ho riportato delle attività, delle pubblicazioni, che si riferiscono ad una tecnica che si chiama *potential drop*, di cui vi riferirò, che è quella con cui abbiamo fatto le prove. Dunque, le prove le abbiamo fatte su un assile di cui vedete qui la stampigliatura e di cui è disponibile anche il reperto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco professore, mi interrompereì e con l'autorizzazione del Tribunale, prima di procedere all'eventuale deposito del pezzo, vorrei rammostrarle quello che io ritengo sia quanto è rappresentato nella fotografia, ossia la testata de un assile con tutte le marcature, su cui poi le chiederò delle domande, e vorrei che lei ci confermasse che questa testata, che noi andremo poi a depositare presso il Tribunale, sia quella sul quale... sia la testata dell'assile della sala montata sul quale voi avete effettuato tutte queste esperienze.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, sì (voce fuori microfono)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Allora...

PRESIDENTE - Quindi Avvocato, il Tribunale l'acquisisce normalmente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - La acquisirei... la depositeremo con

la relazione...

PRESIDENTE - Con la relazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...di cui è parte integrante

PRESIDENTE - Sì, però la acquisiamo formalmente, se è oggetto
poi di domande e di approfondimenti.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì. Ecco...

PRESIDENTE - (voce fuori microfono)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Posso dire, per il verbale, il pezzo è
stato contrassegnato come "testata sala prova full scale
2" e vorrei dare atto a verbale che si tratta
dell'assile... di un assile LKM 1-74 e il numero
dell'assile è l'assile 75870. Ecco, questi sono i dati
che sono su questa testata dell'assile su cui il
professore ci ha appena confermato che è quello su cui
hanno fatto queste prove di caratterizzazione.

PRESIDENTE - Il Tribunale dispone l'acquisizione dell'oggetto
appena esibito al consulente. Allora...

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso andare avanti? Allora, questa è
la testata dell'assile marchiato LKM 74, che abbiamo
fatto reperire in modo tale che questo materiale fosse
materiale più o meno vicino, auspicabilmente, a quello
dell'assile 98331, anche se questo non è essenziale da
questo punto di vista, ma ci dava delle indicazioni
quantitative, oltre che qualitative, insomma. Ora, come
vedete qua, i provini che abbiamo utilizzato noi non sono
esattamente... dunque, intanto hanno le stesse

dimensioni, hanno la larghezza di 25 millimetri uguale a quelli a Lovere. Però osservate due cose. Dunque, l'intaglio lo abbiamo fatto dal centro, in modo tale da procurarci dati che vanno verso la periferia e che sono quindi più attinenti al campo della propagazione, che avviene, come ho detto poc'anzi, prevalentemente nella parte periferica. Infatti è nata sulla periferia la fessura. E questo è il primo aspetto. Il secondo aspetto è questo: dunque, i provini hanno dei fori - M4 - sulla testata, superiori e inferiori, e poi hanno la possibilità di collegare dei prob(?), cioè dei collegamenti elettrici, che vi farò vedere in maniera più dettagliata. Allora, dunque, ancora una volta i provini sono uguali, ho detto; qui ci saranno dei perni di trazione, sulle ganasce; questo è lo *chevron*, e questa è la propagazione che interviene, come nel caso precedente; le dimensioni sono più o meno le stesse... sono le stesse, che sono normate dalla normativa E38809. E quindi viene fatto con questi standard. Ecco, invece questa, a differenza... dunque, io vi ricordo la macchina precedente, che era questa, il modo con cui venivano fatte le prove, e poi vi faccio vedere...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, quella che... ritorni alla macchina precedente perché sennò per il verbale non capiamo niente.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, chiedo scusa. Dunque, vi faccio

vedere...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi la macchina precedente è quella in figura 64.

C.T. DIFESA FREDIANI - Vi ricordo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quella della diapositiva 64 è la macchina di Lovere.

C.T. DIFESA FREDIANI - La diapositiva 64, che sto illustrando ora, è la macchina di Lovere e la procedura di Lovere. Invece la procedura e la macchina che abbiamo utilizzato nel mio laboratorio a Pisa è nella slide numero 72. E ci sono due foto, come vedete. Allora, intanto vi faccio osservare questo: che ci sono due microscopi ottici, uno da un lato e un dall'altro. Queste prove non durano un giorno o due giorni, come nel caso precedente; durano settimane, perché sono fatte con la stessa logica di cui erano fatte le prove dal punto di vista scientifico per i motori di aviazione. Quindi hanno due microscopi, che servono agli operatori per seguire la propagazione su un lato e sull'altro, in modo tale da verificare durante la prova se la fessura cresce in maniera simmetrica. Se ci fossero anomalie la prova può essere interrotta, sostituire il provino e messo un altro provino. Cosa che non è successa. Non è successa perché, guardate come è fatto l'afferraggio. Dunque, questi perni che vi sto indicando con il cursore, 1 e 2, sono quelli che passano nel foro del provino C.T. Però vedete che sopra, dove sto

mettendo il cursore ora, e sotto, ci sono altri due provini in quadratura, cioè a 90 gradi, e su dimensioni, cioè lunghezze diverse. L'insieme di questo asse, di questo asse, realizza uno snodo cardanico, cioè un sistema che è sotto trazione, stabile, e fa in modo che il carico sia sempre centrato nella mezzeria, in maniera automatica. E questo garantisce, ha lo scopo di garantire la simmetria della propagazione e quindi la verifica a posteriori che facciamo con i microscopi a destra e a sinistra, cioè sulle due facce.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, mi permetta di chiarire: sostanzialmente con questi microscopi voi potete guardare la fessura mentre propaga nel provino e vedere che propaghi dritta, come si deve propagare, e non faccia quella rottura anomala, quella propagazione anomala come nei provini di Lovere? E' questo che ci sta dicendo?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, dobbiamo verificare due cose. Primo, che la fessura cresca sostanzialmente parallela e che non vada fuori un angolo di 3 gradi, che è specificato nella normativa, cioè non prenda in alto e poi ritorni in basso, cosa che può succedere. Quindi poi vi farò vedere i provini, che sono esattamente... questo viene verificato. Cioè, la fessura deve correre nella zona di mezzeria, per essere corretta la prova. Primo. Secondo fatto è che deve essere simmetrico, da una parte

e dall'altra, perché vuol dire che altrimenti intervengono delle tensioni secondarie, sono... flessioni secondarie si chiamano, e fa parte diciamo della tecnica normale. Per vedere se sono... se crescono in maniera uniforme, vedete qua, dunque io adesso vi sto mostrando con il cursore questo, vedete questo? Questo è un nonio, cioè un elemento che misura con la precisione del centesimo quanto è grande la distanza, di quanto si sposta... io muovo il microscopio su una guida calibrata; qui sopra con un nonio vedo quant'è la misura esattamente istante per istante, con una precisione centesimale. E lo stesso lo vedo di là. Ovviamente i due noni sono calibrati allo stesso modo, lo dico, inizialmente. Quindi vedo con precisione centesimale come propaga e se propaga correttamente su un lato e sull'altro. Questo è un aspetto metodologico che potrebbe apparire non importante, ma una prova di questo genere ho ritenuto che lo sia. E quindi abbiamo applicato il top delle tecnologie per fare questo tipo di attività, che noi abbiamo fatto per molto tempo e abbiamo messo a punto anche questa tecnica, l'abbiamo messa a punto noi nel mio dipartimento, che poi è stata trasferita ai laboratori che avete visto prima. La tecnica si chiama caduta di potenziale, *potential drop*. Anche qui, non è basata sul fatto che io c'ho una misura sul COD esterno e quindi se sbaglio un centesimo lì mi si riflette sia sulla

lunghezza di fessura, sia sul fattore di intensità degli sforzi. Io lo faccio con una misura in cui ho un sistema fatto da un voltmetro digitale, che è questo, un alimentatore, anzi un alimentatore stabilizzato, che manda corrente in questo punto. Tutto il provino con le barre è messo dentro delle... delle... come si chiama... degli elementi che sono non conduttori, che non conducono, come si dice...

(più voci fuori microfono)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Cioè, lei ci sta dicendo sostanzialmente che misurate attraverso delle tecniche elettriche invece che attraverso quelle lamelle...

C.T. DIFESA FREDIANI - Insomma, vuol dire che...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...che vibravano e creavano interferenza?

C.T. DIFESA FREDIANI - Non ci sono... cioè, la correttezza vuole che la corrente che arriva di qua non vada a giro attraverso la... non si chiuda in corto circuito attraverso la struttura. E questo non viene fatto e l'abbiamo provato. Poi la corrente entra da questa parte, esce da quest'altra parte e intorno all'apice definisce delle linee di flusso, che si possono calcolare, si possono calcolare con delle simmetrie, con delle analogie tipo propagazione del calore, per capirci. Però in realtà l'errore che potrebbe fare l'alimentatore stabilizzato viene modulato attraverso un'altra seconda misura, che è

insieme alla precedente, ed è un provino uguale a quello precedente, in cui preleviamo il segnale attraverso... ai capi, vale a dire tra questo punto e questo punto, col il voltmetro digitale. Il voltmetro digitale ne prevede due e quindi fa il confronto, manda il segnale al computer, e il computer analizza i segnali, li incrocia e controlla che i segnali siano corretti. Questo è un modo per evitare errori, cioè è una tecnica di cui non entro in dettaglio perché c'è un software che abbiamo scritto per fare questo. Il computer comanda la macchina... la centralina della macchina di prova, la cella di carico, e misura lo spostamento e la forza. Quindi noi conosciamo per ogni ciclo la forza che applichiamo e conosciamo, per ogni ciclo, istante per istante, qual è il valore del segnale in uscita che passa da qui a qui, in rapporto al valore della corrente che emettiamo, in maniera dimensionale. Allora, ci sono delle... l'esperimento, cioè diciamo il progetto di ricerca europeo consisteva nel determinare la funzione che correla questi dati con la lunghezza di fessura, in maniera molto rigorosa, controllandolo cioè sia durante la prova, sia in fondo alla prova, perché alla fine della prova, vi farò vedere, abbiamo una taratura finale per sicurezza. Allora, questo è il provino come appare nel caso nostro, con - vedete - il cavo blu in cui entra corrente, l'altro cavo in cui esce corrente; qui sopra c'è l'andamento... intorno

all'apice della fessura si determina una concentrazione di linee di corrente, e qui sono i segnali che vengono presi. Questi provini sono esattamente quelli che avevano le stesse dimensioni del progetto Brite-Euram di cui vi ho accennato in precedenza. Allora, questo è un dettaglio della prova in cui potete vedere una tinteggiatura, che serve per vedere meglio. Qui sono... il posizionamento dei cavi, dei cavi di ingresso della corrente, e qui sono i cavi in uscita. Un esperto dirà che i cavi sono sottili, ma qui non passa corrente perché questo è collegato a un voltmetro che, come sapete, ha una impedenza molto alta, quindi non passa corrente, c'è solo segnale. E quindi sono tutti dettagli che gli esperti poi potranno discutere quanto vogliono. Questa è come appare la prova nel suo complesso nella macchina del mio dipartimento. Il materiale che abbiamo utilizzato lo abbiamo fatto analizzare presso un centro qualificato, che è il Centro Tecnologico Sperimentale di Ceparana, che è un centro qualificato ed è in grado di fare analisi chimiche e ci dà una struttura del materiale. Il materiale abbiamo visto che sostanzialmente è lo stesso dell'assile 98331. La slide è la numero 77.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, nella slide 77, quindi certificato di prova, che ritroveremo anche nella sua relazione...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...è un certificato di analisi chimiche di quell'assile LKM del '74 su cui lei ha condotto la prova?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, è un acciaio 1N, diciamo della classe C35, insomma, come quello dell'assile. Poi esattamente... è chiaro che quando c'è una percentuale di un elemento e ci sono delle tolleranze centesimali, entrano però intolleranze. Più o meno il materiale sostanzialmente è lo stesso. Abbiamo consapevolezza che sia molto vicino a quello dell'assile 98331. Ma ripeto, non è essenziale, se non per il fatto che i dati che sottendono hanno anche una valenza non solo qualitativa ma anche diciamo quantitativa. Poi abbiamo ricavato dei provini, che sono delle lamine, spessore 2,5 millimetri, fatte a osso di cane, da cui abbiamo ricavato le curve del materiale, le curve meccaniche, la legge meccanica cosiddetta $\sigma\epsilon$, carico-deformazione. E qui l'abbiamo... però la prova l'abbiamo fatta presso il Laboratorio di Ingegneria Civile e dei Materiali da Costruzione dell'Università di Pisa, che è un centro qualificato per le prove strutturali. Il direttore del laboratorio è Marino Lupi. E qui abbiamo determinato diciamo l'andamento delle caratteristiche del materiale. Il materiale è sostanzialmente... parametri che sono molto vicini a quelli dell'assile di riferimento.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, la slide, chiedo scusa...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...la 77 erano le caratteristiche chimiche e lei ci ha confermato, se ho compreso bene, che sono analoghe a quelle del 98331. Queste sulla slide 80 che caratteristiche sono, caratteristiche fisiche del materiale?

C.T. DIFESA FREDIANI - La slide 80 rappresenta i risultati di tre prove, abbiamo riportato tre prove che rappresentano - vedete - la ripetibilità dei dati. Quindi vuol dire che le prove sono condotte correttamente e sono sostanzialmente uguali. Vedete, sui kiloNewton, ecco, sostanzialmente sono... sono molto simili, ecco, sono sostanzialmente le stesse. Allora, ripeto, che siano uguali all'assile non è essenziale nel caso nostro, ci interessa solo a livello qualitativo. Allora, a questo punto la formula del fattore di intensità degli sforzi in funzione dei segnali che abbiamo trovato, noi l'abbiamo dai risultati di quel progetto europeo, ed è una formula che è stata approvata presso tutti i laboratori che avete visto prima, la Rolls-Royce, la Snecma, l'Università del Galles e così via, tutti hanno prove e tutti hanno qualificato questa formula che ci dà l'espressione del fattore di intensità degli sforzi, in cui questa espressione - la slide è la numero 81 - P è il carico applicato ai provini C.T., B è una dimensione del provino, la larghezza, e W sono altre... sono altre

dimensioni caratteristiche dei provini. A/W rappresenta la percentuale con cui... la percentuale di lunghezza di fessura rispetto ad una lunghezza di riferimento, in maniera dimensionale. Tutto questo è standard, ripeto, e certificato da un'attività di lungo termine condotta in quel contesto. Allora, io qui vi riporto, a titolo di esempio, alcune foto. Nella slide numero 82 riporto una foto della risultato di queste... di queste...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore la fermo, mi scusi. Con l'autorizzazione del Tribunale io vorrei mostrarle un provino e vorrei avere conferma che sia quello nella foto. Quindi io mostrerei al professore il provino contrassegnato come "C.T. 31, "Compact Tension 31, provino Pisa". Se il Tribunale mi autorizza, in modo che poi quando lo depositeremo sappiamo di cosa parliamo.

PRESIDENTE - Sì, esibiamolo al teste e se ne dispone l'acquisizione, così è a disposizione delle parti per l'esame dello stesso.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, c'è una sigla, "C.T. 31", l'ho fatta io questa (voce fuori microfono).

PRESIDENTE - Lo riconosce, è quello. Va bene.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' questo, sì, sì. E' uno dei provini nostri.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi nella figura 82... nella diapositiva 82, figura 42, vediamo questo "Compact Tension 31" oggetto del suo studio.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' uno di quelli. Ora non so esattamente... non so se esattamente lo stesso, comunque sono tutti simili, ecco. Allora, io vi farei vedere però il modo con cui è stata condotta questa prova. Allora, questa prova è stata condotta facendo propagare la fessura fino a un certo valore, che è questo. Poi, ripeto, non è rapida, abbiamo smontato il provino e lo abbiamo messo in un forno ad alta temperatura, in modo tale che la fessura... diciamo, la fessura venisse brunita, si fa una brunitura della fessura, della zona fessurata. Dopodiché viene rimontato di nuovo il provino sulla macchina di prova e viene fatto propagare con gli stessi carichi, in modo tale che ci sia una provocazione successiva marcata con una zona lucida, che è quella del materiale, e con il carico troppo alto non ci siano deformazioni di stiramento del materiale intorno. Poi quando la fessura è diventata abbastanza grande viene smontato di nuovo e viene tagliato con un utensile. E questo è quello che si vede. Dopodiché viene fatta una taratura finale e viene verificato che il modello di previsione produca lo stesso risultato della taratura finale.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, se può tornare sulla fotografia avrei delle domande. Mi scusi, quindi quando il provino è chiuso, questa... ovviamente noi vediamo la foto di una metà del provino, quando la prova

inizia l'intagliatura con la presa è quella che vediamo a destra della fotografia, cioè la parte che sto indicando con il puntatore laser...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, quella (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...ossia il lato destro della fotografia è l'intaglio, lo *chevron* lei lo chiamava prima...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...da cui parte la prova?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esatto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E la parte centrale qui brunita è la parte sulla quale c'è stata la propagazione della frattura durante la prova?

C.T. DIFESA FREDIANI - E' così.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi, per il verbale, destra è l'intaglio iniziale, al centro la parte brunita è la propagazione. E la zona a sinistra invece che cosa è?

C.T. DIFESA FREDIANI - La zona a sinistra è quella che, come ho detto, viene rimontato il provino una volta che è fatta la tinteggiatura, per effetto termico; la zona a sinistra è una propagazione che non viene considerata, serve solo per propagare la fessura e vedere la differenza fra il colore lucido del metallo rispetto a quello precedente che si è annerito, e sulla quale eseguiamo le misure finali.

AVV. RUGGERI LADERCHI - La ringrazio.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, questi sono i valori. Dunque, intanto, vedete, la frequenza è 4 Hertz, perché la frequenza di 4 Hertz vuol dire 4 cicli al secondo, 4 cicli al secondo anziché 14, come viene fatto nella prova precedente, in modo tale da seguire la fessura con molta più precisione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi professore, quando lei dice "la prova"... lei ha detto "la nostra prova è a 4 Hertz e la prova precedente"...

C.T. DIFESA FREDIANI - La prova...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Si riferisce alla prova di Lovere?

C.T. DIFESA FREDIANI - La prova fatta a Lovere era condotta a 14 Hertz, cioè 14 cicli al secondo, ed è quello che induceva una dinamica delle masse sospese che inducono un segnale sugli estensimetri che sono presenti, e quindi che sporcano il segnale rispetto... e lo sommano, lo sporcano, lo modificano rispetto a quello dell'apertura del COD.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi andando più lentamente si ottiene una misura più precisa? E' questo che sta dicendo?

C.T. DIFESA FREDIANI - Quindi volevo dire che nel caso di Lovere era possibile che i valori di c ed m dipendessero dalla frequenza, mentre non devono dipendere dalla frequenza perché dal punto di vista costitutivo i valori c ed m non dipendono dalla frequenza con cui si fanno le

prove. E in questo caso ovviamente non dipende dalla frequenza. A parte il fatto che viene fatta a 4 Hertz, che è molto bassa, per cui comunque l'effetto sarebbe molto... molto piccolo, ecco. Qui osservate anche che ci sono... abbiamo fatto su carichi diversi, 35 tonnellate, 27, 35 e 30, in modo tale da spaziare con un campo di ΔK diverso, come vedremo; $r=01$, cioè r è lo stesso di quelli di Lovere, cioè il carico ovviamente è solo di trazione perché comunque in questo caso, ma nemmeno in quello di Lovere, potremmo condurre poca compressione; in questo caso no perché, come vedete, gli afferraggi sono fatti da snodi cardanici che sono instabili quando comprime. La lunghezza finale viene misurata prendendo cinque punti sul fronte, un valore nel mezzo, i due valori sulle facce, sulle due facce laterali, e poi i due valori intermedi fra i due. E viene fatta poi la media aritmetica, perché ovviamente la curvatura è relativamente modesta, quindi questo secondo la normativa E399. E qui avete i provini tipicamente... le misure, vedete, C.T. 21, faccio un esempio, la colonna a sinistra della slide numero 84. Vedete a sinistra 37,99 e 38,31, c'è un decimo. E poi nel mezzo 38,68 e 38,52. Qui l'abbiamo misurato coi centesimi. E' chiaro che i centesimi sono robe molto piccole, insomma. Però vedete, sono a mio parere molto, molto accurate. Ecco, qui... qui emerge la differenza fra quello che io osservavo a Lovere

e quello che si osserva qua. Questo è quello che esce dal calcolatore. I nostri centri di calcolo, in maniera automatica, con i codici che abbiamo messo a punto durante quel processo - slide numero 85 - riportano la lunghezza di fessura in funzione del numero dei cicli. Allora, qui è fondamentale, nella qualità delle prove, che ci sia una dispersione molto bassa, cioè che la nuvola di punti sia estremamente contenuta. Perché questo? Perché quando io faccio la velocità, vuole dire che sto prendendo punto per punto, per un certo numero di cicli, la derivata, cioè la differenza fra un punto successivo diviso il numero di cicli diverso. Allora, se c'è una fascia di dispersione grande mi succede che posso... le derivate schizzano, non hanno alcun valore dal punto di vista probante. Quindi queste prove devono essere fatte in modo tale che la dispersione dei punti sia estremamente contenuta, come vedete in questo caso. E pur tuttavia, in maniera automatica, vedete che c'è una piccola dispersione intorno ad un valore medio. Però questo statisticamente è esattamente determinato e come vedete da questa prova è esattamente lineare in scala logaritmica. Questo è quello che noi ci aspettiamo dalle prove fatte sui provini C.T. nel campo della legge di propagazione di Paris, come il caso in esame, $r = 01$, ampiezza costante.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, quindi diciamo

qui vediamo una nuvola di punti che è l'equivalente della nuvola rosa che vedevamo prima nella sua diapositiva numero 12. La 12 era la nuvola di punti di Lovere di cui lei ci diceva che aveva un andamento diciamo inconsueto, uso un termine poco tecnico. Questa, la sua nuvola di punti invece è conforme o non è conforme al modello di Paris, la nuvola di punti trovata sui suoi provini C.T.?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, diciamo, la legge di Paris nulla dice sulla nuvola di punti. La legge di Paris vale per il diagramma destra. Cioè il fatto che nell'intervallo... nella fase 2 abbiamo detto, l'intervallo... questo deve essere lineare in scala logaritmica, nelle scale che vedete. Ed è lineare. Ovviamente in senso statistico, nel senso che... in senso statistico vuol dire che c'è una... è nettamente una curva lineare e poi ci sono dispersioni intorno ad essa, che fa parte della statistica. La nuvola di punti di cui abbiamo parlato nel caso di Lovere non è lo stesso problema, perché... io non saprei dire, molto onestamente, perché nel caso della nuvola di punti tutte le tre prove sono state messe insieme, mentre qui le prove sono fatte singolarmente. Io posso esaminare singolarmente prova per prova, ma io so che... dunque, l'ingegner Ghidini ha elaborato i suoi dati anche lui prova per prova, ovviamente con il software che aveva a disposizione per fare le prove, quindi un software che ha

mediato. Questo software però alla fine ha mediato ma ha prodotto questa serie di segmenti, questi tre segmenti che invece qui noi non rileviamo. Però diciamo la dispersione nel caso che abbiamo visto che ha utilizzato il professor Bertini è cosa diversa da questa. Il professor Bertini ha messo tutte le prove e la nuvola di punti insieme e poi ha tratto una linea media secondo i tre tratti. Invece l'ingegner Ghidini, ripeto, ha esaminato prova per prova e ha tirato fuori tre pendenze diverse, ma... ma l'ha fatto non prendendo tre elementi curvili... cioè tre tratti, ma ne ha preso uno solo, perché sa benissimo, credo... insomma, penso che è esperto e sa che le prove devono definire una pendenza, un valore di c e un valore di m , e non tre.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ma i punti che invece lei ha constatato su ciascun provino definivano una sola pendenza o avevano pendenze diverse? Cioè, in ciascun provino...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, no, definivano...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...la pendenza era una sola?

C.T. DIFESA FREDIANI - I valori che ha preso Ghidini definivano tre pendenze (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, no, non le chiedo di Ghidini. La mia domanda è relativa alla sua prova che sta commentando.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Il *Compact Tension 21*, ad esempio, che ho qui sul tavolo davanti a noi. Guardando questo grafico quell'anomalia della nuvola che piegava a destra e a sinistra, eccetera, lei l'ha riscontrata o non l'ha riscontrata?

C.T. DIFESA FREDIANI - No, ecco, ora le faccio vedere quelle successive. Questo è un esempio, la prova 1. Poi le faccio vedere quell'altra. Come vede non ci sono questi tipi di attività. Queste sono fatte per campi di ΔK diversi.

PRESIDENTE - Scusi un attimo, un attimo per favore.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque...

PRESIDENTE - Scusi, un problema di registrazione, tecnico.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Si può ripartire.

C.T. DIFESA FREDIANI - Grazie. Dunque, dicevo, questa è l'elaborazione che deriva... diciamo numerica che viene svolta da parte del nostro software, che analizza in maniera automatica i carichi, ma, ripeto, software certificato da quel progetto europeo. Come si vede qua, qui sono diversi i campi di K , qui parte da 20, poi quando il carico di prova è un po' più grande, oppure più piccolo... quando il carico è più piccolo comincia prima, ma tutte hanno un andamento diciamo rettilineo, nel tratto di competenza ovviamente. Ecco, questo, vedete, è più... si riferisce a un campo diverso, ΔK più bassi, e

qui le caratteristiche sono comuni.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, le posso chiedere cortesemente per il verbale ogni volta quando dice questo di indicare...

C.T. DIFESA FREDIANI - Chiedo scusa.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...quale diapositiva sta commentando?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, la prima slide è la 85 e si riferisce al provino C.T.21. La seconda slide, la 86, al provino C.T.22, e la slide 87 è relativa al C.T.31. Noi di prove ne abbiamo fatte sei, invero, perché abbiamo fatto più prove per essere certi di quello che potevamo dire, insomma, della qualità del risultato. E le prove sono riportate qua, i valori. I valori sono, per quanto riguarda c vanno intorno a 10^{-8} , in maniera abbastanza uniforme, e m varia da 2,3 a 2,7, questo è 2,5 vedete, 2,7 è il valore massimo. Però vedete, se noi riassumiamo... dunque, vedete... dunque, vi faccio vedere un attimo, vi faccio osservare questo. Guardate questo provino, il C.T.21, osservate questo, il provino C.T.31 e il provino C.T.42, hanno...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, per il verbale specifico che si tratta della sua diapositiva numero 89...

C.T. DIFESA FREDIANI - La slide numero 89.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...che riassume i parametri ottenuti nelle prove precedenti?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sono i parametri contenenti nelle prove

precedenti, nella slide numero 89, certo. Dunque, sono omogenei a gruppi, hanno dei valori omogenei per quanto riguarda c e per quanto riguarda m , e sono di due categorie. Ora ve le faccio vedere. Dunque, vedete, queste prove sono molto, molto coerenti, esattamente le stesse... definiscono in maniera molto precisa la stessa cosa. Queste qui sono un gruppo di altre tre prove che hanno però... relative ad un carico più alto, diverso. Dunque, è noto infatti che a seconda del valore del carico possono esserci delle differenze sulla pendenza, anche se queste versioni, queste curve sono molto amplificate per quanto riguarda la scala, e quindi è quello che più o meno ci aspettavamo. Quindi in funzione del carico a cui si riferisce la prova in esame, per esempio nell'assile - slide numero 90 - scegliamo uno o l'altro. Però le differenze come vedete sono poche, si parla di 10^{-8} l'ordine di grandezza e di 2,35-37 nel caso dell'altro. Quindi in realtà sono molto... diciamo, abbastanza... molto coerenti fra loro, ecco.

A questo punto passo ad un altro aspetto del nostro lavoro che riguarda lo studio del modello teorico numerico per la propagazione della fessura. Allora, ammettiamo che valga la legge di Paris. Vogliamo determinare la lunghezza iniziale A_0 relativa a $n=0$, numero dei cicli di partenza. Allora, diciamo, la legge di propagazione la utilizziamo prendendo come buono, come

riferimento il punto finale. Sappiamo che la fessura arriva a quel punto, arriva a 62 millimetri e integriamo, cioè facciamo l'operazione matematica di descrivere la legge, la legge di Paris, partendo da quel punto e tornando indietro, cosa che si fa banalmente, fino a determinare la lunghezza di fessura iniziale corrispondente al numero di cicli compiuti fino al 02 marzo del... dal 02 marzo al 29 giugno 2009. Il 29 giugno 2009 siamo a 62 millimetri, dato finale, lunghezza finale. Integriamo indietro fino a trovare quanto valeva al 02 marzo del 2009. Non so se sono stato chiaro. Allora, le ipotesi sono queste. Supponiamo che il treno durante il suo tragitto, soprattutto nel viaggio di andata, cioè da Nord a Sud, sia tale da applicare sulla ruota un carico ad ampiezza costante, quindi trascuriamo le forze in curva, gli urti ruota/rotaia, la posizione del carrello nel treno, eccetera, quindi supponiamo che alla fine mediamente queste siano perturbazioni intorno al carico come dobbiamo fare, perché... se vogliamo applicare la legge di Paris.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, lei ci sta dicendo che ha semplificato in qualche modo il calcolo ignorando gli urti ruota/rotaia, ma se lei avesse tenuto conto degli urti sarebbe andata più veloce la cricca o più piano?

C.T. DIFESA FREDIANI - Non saprei dirlo, onestamente, perché

se tutte le curve fossero a destra...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Non le sto chiedendo delle curve, le sto chiedendo di...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, le sto chiedendo degli urti, non delle curve. Gli urti accelerano o decelerano la propagazione? Non le curve, gli urti.

C.T. DIFESA FREDIANI - In generale la accelerano, ovviamente, però insomma, dipende ecco, dipende da quanto è l'escursione del carico rispetto a quello medio. Il carico medio qui è molto elevato, sono 10 tonnellate/ruota, cioè l'assile lavora alla sua massima possibilità, portata, che è 20 tonnellate ad asse e quindi diciamo che il tipo di lavoro che fa durante la fase operativa è quello di riferimento. Quindi a posteriori poi vi farò vedere che tutto sommato l'entità però ovviamente è ripartita su tutta la tratta. E' chiaro che localmente in una curva ci può essere una sovrasollecitazione su una ruota e un leggero scarico sull'altra, però questo vale per pochi cicli. Poi la curva può essere in senso opposto e quindi compensa. Alla fine però diciamo della missione finale l'effetto globale delle perturbazioni non dovrebbe essere molto alto. Questo lo dico per quello che abbiamo potuto constatare, insomma, e può servire anche per calcoli in futuro, insomma. Questo è quello che viene fuori. Quindi,

diciamo, a mio parere il problema non è tanto sull'ipotesi dell'assunzione del carico ad ampiezza costante, quanto il fatto che utilizziamo la legge di Paris a trazione - questo è l'altro discorso - cioè che dei due fatti fondamentali, ampiezza costante e trazione e compressione alternata, il secondo è quello che è fondamentale e dirimente a proposito di questa questione, di questo fenomeno. Invece noi ovviamente in questa ipotesi che facciamo trascuriamo il fatto che la fessura abbia... cioè, che il carico vada a... cioè, che la fessura vada a compressione e ragioniamo come se tutto andasse a trazione, come diciamo è normale in questa ipotesi. Allora, qui abbiamo fatto alcune manipolazioni di carattere matematico. La lascio qui, poi rimane a verbale, in modo tale che gli esperti possano certamente controllarla, ecco. L'abbiamo scritta in questo modo, ovviamente integrando un'integrale che va dal valore finale a quello... iniziale a quello finale, e l'integrale viene fatto integrando in da(?), cioè sulla lunghezza di fessura. Ma insomma, sono aspetti matematici. C ed m sono quelli determinati con le prove che vogliamo, che possono essere quelle di Lovere, le nostre e così via. La legge è questa e ovviamente la legge dipende dai valori che ci mettiamo dentro. Vi faccio notare che m è un'esponente, e quindi cambiare l'esponente, passare da 2 a 3, è come dire 2 al quadrato

fa 4, ma 2 al cubo fa 8, e quindi c'è una grande sensibilità della previsione rispetto a questo parametro e variando poco i risultati sono diversi. Per fortuna abbiamo la marcatura dei provini, che ci raccontano quanto sbagliamo nelle previsioni, questo è punto di riferimento imprescindibile.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, quello che lei ha appena detto è una circostanza, se non ho capito male, molto importante, cioè m è uno dei parametri che si verificano e misurano con i provini C.T. a Lovere o con quelle tecniche scientifiche da voi a Pisa?

C.T. DIFESA FREDIANI - M è uno dei parametri che si determinano con le prove attraverso provini C.T.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E quello che lei sta dicendo è che m è un'esponente della formula, quindi piccole differenze, errori di misurazione o quant'altro, possono portare i risultati finali a cambiare molto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Come è sempre nella meccanica della fra... nella legge di Paris è così, certamente. Anzi, a proposito, la domanda mi pare interessante perché mi permette di precisare alcune questioni che sono importanti. Nel mondo aeronautico i parametri c ed m non vengono dati... non vengono presi da un libro, che è il "Metal Handbook" della MIL, cioè delle norme militari, che è il valore di riferimento, ma vengono, devono essere forniti di volta in volta... quando un fornitore fornisce

una lamiera, una lamiera di alluminio, a un costruttore di aeroplani, gli deve caratterizzare quella lamiera di alluminio con c ed m , in modo tale da determinare il *damage tolerance* di quel materiale. E ogni pezzo del materiale che va a finire su un aeroplano ha la propria curva e i propri valori c ed m . Perché? Perché anche se il materiale ha la stessa diciamo nomenclatura, teoricamente è lo stesso, intanto vedete dalle prove diciamo chimiche che ogni materiale ha una dispersione dei singoli elementi; non solo, ma anche una dispersione sulla qualità della grana, più fine e più grossa. La qualità della grana ha un effetto fondamentale sulla legge di propagazione, quindi è chiaro che a seconda della tempra, i materiali vengono temprati, a seconda della qualità della tempra e delle oscillazioni della temperatura c'è una grana leggermente diversa, che ha influenza sulla velocità di propagazione. Quindi è chiaro che nell'aeronautica questa cosa è una cosa molto importante, però viene fatta elemento per elemento. Ogni elemento della fusoliera e ogni elemento delle ali ha un proprio numero e una propria prova certificata. Mi sono spiegato? Ecco, questo qua. Quindi per dire dell'influenza di questi... di questi parametri. Parlavo della slide numero 93. Posso andare avanti?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, professore, la prego, vada avanti.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, se vi ricordate prima abbiamo

determinato quanto vale questa f di a/d . Qui viene amplificata la m . Qui abbiamo riscritto questa formula in funzione delle cose che ci siamo preparati in precedenza, cioè questa funzione adimensionale è la funzione di a/d , che sono cose che abbiamo definito. Questa a raccoglie tutte le parti costanti, tutti i dati; d è il diametro dell'assile, cioè 147 millimetri; c ed m sono i valori determinati per le prove, che caratterizzano il materiale; carico massimo è il valore del carico massimo di 10 tonnellate applicato all'assile durante il viaggio di andata, e 4 nel viaggio di ritorno ma, come vi ripeto, non l'abbiamo considerato ai fini della propagazione, perché non conta. Ripeto qui per il verbale quanto vale a/d e facciamo così... a questo punto i miei colleghi che si occupano di espressioni matematiche, per semplificare loro la vita ho chiamato $a/d=x$ come incognita e poi ho detto...

PRESIDENTE - Potremmo fare un rinvio a tutte queste...
professore, vogliamo fare un rinvio a tutte queste
formule?

C.T. DIFESA FREDIANI - Volentieri.

PRESIDENTE - Poi sia i tecnici che noi ce le andiamo a
guardare.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ecco, ma non in sede di... volentieri,
no, no, non...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco, professore, io credo che lei

tutte queste formule le ha messe a disposizione, come direi...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, ma non...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Se qualcuno ha delle domande gliele possono fare in controesame. Direi passiamo ai risultati, passiamo alla sua... ai risultati di tutti questi conti. Se qualcuno ha delle domande sui conti gliele potrà fare in sede di controesame.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, ma vorrei dire che abbiamo finito, non ce ne sono formule altre.

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

C.T. DIFESA FREDIANI - Dicevo...

PRESIDENTE - Facciamo questo passo avanti, facciamolo.

C.T. DIFESA FREDIANI - Okay. Ma è tutto qua. In realtà non è tutto qua, ma noi abbiamo sintetizzato in questa slide numero 95.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Andiamo al risultato, professore.

C.T. DIFESA FREDIANI - Andiamo avanti. Allora, vediamo i risultati della legge di Paris. Allora, utilizziamo la legge di Paris con i vari valori, coppie di valori c ed m , che vengono dalle prove sui C.T. Allora, le prove di Lovere sono Lovere 1, Lovere 2 e Lovere 3. Sono quelle di Ghidini, mi sembra. Abbiamo preso i valori definiti che sono stati forniti dall'ingegner Ghidini nei suoi report. Siamo partiti dalla lunghezza finale di 62,4 - poi qui l'abbiamo rappresentata con tratti di curva per far

prima, insomma - e le previsioni con Lovere 1, Lovere 2 e Lovere 3, che sono abbastanza vicine, ci forniscono una lunghezza iniziale di fessura che va da circa 8 millimetri a circa un po' meno di 10 millimetri, cioè danno questo mazzo, questo insieme di valori, di curve di propagazione. Invece i valori che abbiamo ottenuto a Pisa sono quelli ottenuti nella slide numero 97, sono le linee blu. Sono anche loro molto... molto vicine uno all'altro e sono queste curve che prevedono una lunghezza diversa. Uno potrebbe essere... dice: va beh, il primo va a finire dove volevamo noi. In realtà tutti e due questi tipi di valori sono sbagliati, cioè le due previsioni formulate con i due insiemi di valori che derivano dalle prove C.T. sono entrambi sbagliati. E il fatto che siano sbagliati lo deduciamo dal fatto che introduciamo questi quadratini gialli, arancioni, che rappresentano i punti veri, i dati reali, che sono quelli che ci guidano, ovviamente, nel capire se un modello funziona o non funziona. Questi oggetti ci raccontano che i modelli previsti con la legge di Paris nell'uno e nell'altro caso non sono corretti. Lo ripeto ancora.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, lei ci ha spiegato, diciamo, in modo abbastanza dettagliato, come fare i provini C.T. fatti bene, misurando bene, in modo scientifico, con tutta quella tecnologia del *potential drop* che, mi sembra di capire, è il meglio che esiste, e

ci ha anche indicato tutta una serie di elementi che rendono le misure fatte a Lovere inaffidabili. E ci sta dicendo che anche misurando bene come avete fatto voi il risultato è sbagliato?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente, sto dicendo questo. Aggiungo ancora una piccola cosa. Aggiungo il fatto che anche i valori che aveva fornito l'ingegner Ghidini, che aveva preso diciamo una pendenza sola nel mezzo, più o meno mediando fra i tre tratti, alla fine non erano molto diversi da quelli trovati a Pisa, cioè l'ordine di grandezza era più o meno simile. Eppure la sensibilità... la sensibilità di questa legge ai parametri la vedete di qua. Tornando indietro trovate questo: se fossimo partiti dalla lunghezza iniziale e avessimo fatto il percorso inverso, una curva sarebbe stata più bassa e l'altra sarebbe stata più alta, avremmo ottenuto due valori, due previsioni diverse, due leggi diverse. Non so se sono stato chiaro. Quindi io affermo, sulla base dei dati sperimentali, dati reali, che nessuna di queste due è corretta, pur essendo fra loro congruenti, come vedete, cioè danno dei valori molto simili fra loro. Posso?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, questo è un passaggio molto importante, poi forse ce lo spiegherà meglio. Ma perché lei dice che la formula di Paris anche misurando bene con i provini non funziona? Cioè, perché non le permette di interpolare i punti reali dei fronti

constatati sull'assile, quelli... quelli arancioni? E' questo è il problema?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, io dal punto di vista... ragioniamo dal punto di vista metodologico, scientifico. Io ho detto all'inizio che non so se la legge di Paris, formulata sulla base del carico di trazione ad ampiezza costante sia vera o no. Allora io sto usando la legge di Paris supponendo che il carico sia ad ampiezza costante e di trazione, cioè trascurò tutta la parte compressa.

PRESIDENTE - Avvocato, sono cose che però ci ha già detto. Quindi la domanda era conclusiva, dell'Avvocato Ruggeri. Senza ritornare sui concetti che lei ha espresso molto chiaramente...

C.T. DIFESA FREDIANI - Credo che la risposta fosse questa. O no? (sovrapposizione di voci)

PRESIDENTE - Il riferimento all'interpolazione consentita o meno nei...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Cioè, io volevo capire... professore, mi associo al Presidente, senza rispiegarci tutto, ma lei ha fatto una conclusione molto importante, che anche misurando con le diverse tecniche, così in ogni caso l'ipotesi non funziona e io volevo, anche per il verbale, che lei ci spiegasse perché l'ipotesi non funziona. Perché guardando la sua diapositiva 97 lei ci dice, in questo modo così diciamo convinto, "questo dimostra che l'ipotesi non funziona"?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, io non posso... dunque, ci sono due fatti. I provini relativi alla curva in blu non sono il 98331, sono un materiale abbastanza vicino a quello ma non sono quello. Quindi non possiamo affermare che questi due sono esattamente confrontabili. Io non lo so e non mi interessa, non è questo il punto. Quello che voglio far vedere è che la sensibilità ai parametri è tale che sposta - vedete - le due previsioni. Primo. Secondo, è che comunque io abbia preso parametri diversi e affidabili, ma mettiamo in ambo i casi, non seguo la legge dei punti sperimentali perché c'è di mezzo la domanda iniziale se vale o meno quello che sto applicando. E quindi devo ripetere quello che ho detto prima. Cioè la flessione è rotante e c'è la compressione. Sono partito dall'ipotesi che funzioni, ma non lo so, lo devo verificare. Questa prova ci racconta di no. Allora, a riprova di questo ci siamo posti l'obiettivo di dire: vediamo con queste leggi quanto dovrebbe essere, cioè quanti numeri di... quanti cicli dovremmo far fare al nostro treno fra un viaggio... in modo tale che la lunghezza di fessura... cioè, quanti cicli di carico dovrei fare per passare da una lunghezza a quell'altra, dai fronti ai vari fronti. Il fronte 1 e 2 non conta nulla, perché raccoglie una serie di... la 1 è solo di riferimento. Vediamo 2 e 3, 3 e 4 e così via, 3 e 4...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, sempre per il

verbale, stiamo commentando la sua diapositiva 98?

C.T. DIFESA FREDIANI - 98.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi l'immagine sulla sinistra è la solita mappatura dei fronti fatta alla Lucchini. Il fronte marcato con il numero 2 è il settimo viaggio, cioè lo spazio tra il fronte 2 e il fronte 3 è il settimo viaggio, tra il fronte 3 e il fronte 4 è l'ottavo viaggio e così via??

C.T. DIFESA FREDIANI - Confermo. Il fronte 2 è quello che si riferisce alla profondità di 14 millimetri.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi è la prima marcatura riscontrata.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' quella... sì, è quella trovata sul fronte. Poi il 3 è quella successiva, il 4 (sovrapposizione di voci)...

PRESIDENTE - Se conferma quello che ha detto l'Avvocato va bene.

C.T. DIFESA FREDIANI - Va bene.

PRESIDENTE - Se conferma (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - Va bene.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Allora l'esercizio che voi avete fatto è: applicando la legge di Paris solo a trazione, come ha fatto il professor Bertini, per capirci, e utilizzando i dati di Lovere 1, Lovere 2, Lovere 3, Pisa 1, Pisa 2 e Pisa 3, vediamo quanti chilometri e quanti cicli dovrebbe fare la ruota per coprire lo spazio tra i fronti reali

constatati?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, è esattamente questo. Ora, questa è una tabella che è poco leggibile, ma forse è più leggibile diciamo il diagramma successivo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, torniamo un attimo alla tabella. Io di nuovo guardo lo spazio tra il fronte 2 e il fronte 3, ossia mi sembra l'ottavo viaggio, se non sbaglio, no? Ecco, questo... cosa ci viene a dire la tabella? Se con i dati di Lovere 3... cioè, io questi numeri credo siano in una notazione esponenziale che non per tutti sono... sono molto chiari. Quindi vuol dire un milione e 450 mila cicli.

C.T. DIFESA FREDIANI - Esatto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Prendo Lovere 3 per fronte 2 e 3. 1 4 5 e +6, vuol dire un milione e 450 giri della ruota.

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Noi sappiamo che in un viaggio la ruota ne fa 308.000, mi sembra lei ci avesse detto.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ovviamente, certo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi questa ipo... questo dato non corrisponde alla lunghezza... cioè, l'Italia si starebbe riallungando. Lei stamattina ci parlava dell'Italia che si raccorciava; qui starebbe triplicata la lunghezza dell'Italia, anche di più.

C.T. DIFESA FREDIANI - È così? Qui...

AVV. RUGGERI LADERCHI - E...

C.T. DIFESA FREDIANI - Scusi, 2 e 3... Lovere 1 vuol dire un milione...

AVV. RUGGERI LADERCHI - 2 e 3 Lovere 3.

C.T. DIFESA FREDIANI - 5 milioni e 500 mila e così via. Questi sono i dati. Però forse, dicevo prima, la slide numero 99, che è quella successiva, è più espressiva, nel senso che fa vedere con diversi metodi di interpolazione dei dati, cioè di utilizzo dei dati... per esempio, quella di Pisa 3, ecco vedete, nel fronte 2 e fronte 3 qui prevede circa 200.000 cicli. Con Lovere 1, Lovere 2 e Lovere 3 avete una valutazione... questa scala è logaritmica, attenti, questo è 200.000 e questo è 2.000.000, ecco, c'è una certa differenza. Si passa da questo gruppo, che è intorno a 210-220 mila, più o meno, a valori che sono vicini a 1.800.000. E questo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi professore, lei ci ha detto che le ordinate sono logaritmiche. Cioè, che vuol dire? Che questo non è un diagramma normale? Cioè, vuol dire che 2... 2 e 5 cosa vuol dire? Quanti... quanti cicli? 2 e 6?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, 2... vuol dire 200.000.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi 2 e 5 vuol dire 200.000 cicli.

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, 2 e 5 vuol dire 200.000.

AVV. RUGGERI LADERCHI - 2 e 6, 2.000.000 di cicli.

C.T. DIFESA FREDIANI - 2.000.000.

AVV. RUGGERI LADERCHI - 2 e 7, 20.000.000 di cicli.

C.T. DIFESA FREDIANI - 20.000.000 di cicli (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi se noi lo facessimo con un grafico normale sarebbe molto più alto lo sbalzo... il numero di viaggi necessari.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, certo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Cioè, il grafico sarebbe molto più alto.

C.T. DIFESA FREDIANI - Quindi questo vuol dire sostanzialmente che... è chiaro che la rappresentazione è logaritmica per il fatto che passando da pochi cicli a milioni ci vorrebbe una scala che non si vede niente, quindi questo invece permette di raggruppare... di rendere visibile meglio. Questa riga tratteggiata rappresenta il numero dei cicli che sono necessari... che vengono effettuati da una fessura all'altra, cioè circa 300.000 cicli.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi, mi scusi, la linea blu rappresenta la distanza tra Trecate e Gricignano nella realtà.

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente. Cioè...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mentre le colonne dell'istogramma rappresentano il numero di cicli che ci vorrebbero secondo la legge di Paris?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente. Quindi questo vuol dire, questo diagramma ci racconta che ci sono delle previsioni... per esempio, vedete, il fronte 2 e 3, tanto

per fare un esempio, se abbiamo delle previsioni che dicono che ci vogliono 1.800.000 cicli vuol dire che stiamo considerando una velocità molto minore di quella che avrebbe, che dovrebbe avere, in modo tale che il numero dei cicli sarebbe 300.000 circa. Quindi al di sopra della riga stiamo pensando... stiamo considerando delle valutazioni in cui la fessura cresce molto meno di quella reale; al di sotto cresce molto di più di quella reale. Molto dico perché essendo in fase logaritmica le scale amplificano, ovviamente. Quindi si capisce che per essere corretto questo diagramma tutte questi gruppi dovrebbero essere tutti allineati su 308.000 cicli. E qui ci racconta invece che non è vero. Ci sono delle valutazioni iniziali, cioè i fronti delle fessure... cioè, quelli relativi alle fessure più corte, alle fessure basse, si sta sottovalutando la velocità di propagazione, per quelle alte si sta sopravvalutando. E' chiaro? Allora è immediato osservare che entrambe le previsioni di Lovere e Pisa, dei parametri costitutivi, non corrispondono a rivoluzioni della fessura osservabili sulla sezione fessurata. Lo abbiamo visto con due modi, sia con le curve che abbiamo detto prima sulla slide numero... numero 97, che fa vedere un tipo di rappresentazione, sia su una previsione formulata sulla slide numero 99, che è più espressiva, che fa capire valore per valore, insomma, tratto per tratto. Allora a

questo punto ci siamo posti un problema.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, non mi è chiara la sua conclusione, la slide 100. Poi lei è tornato indietro. Quindi da tutto questo lei arriva a che conclusione?

PRESIDENTE - Avvocato, era chiarissima.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Forse io mi sono perso un pezzo, Presidente.

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sono più...

PRESIDENTE - Era chiarissima.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi.

PRESIDENTE - L'ha ripetuta più volte. Quindi...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, prosegua.

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, ero... il Tribunale è stato più attento di me. Forse, Presidente, prima che affrontiamo un tema successivo potremmo fare una breve pausa? Tre minuti.

PRESIDENTE - Siamo alla terza parte?

AVV. RUGGERI LADERCHI - No.

PRESIDENTE - No, sempre alla seconda parte.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, siamo sempre...

PRESIDENTE - E allora proseguiamo, perché...

AVV. RUGGERI LADERCHI - E allora però...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Lei è in formissima, professore (sovrapposizione di voci)...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - L'Avvocato Ruggeri ci abbandona qualche minuto. Intanto... se bisogna seguire pagina per pagina tutte le slide e non c'è possibilità di fare un'operazione di sintesi... professore, ne approfitto, ma di tutto questo lei all'incidente probatorio non ne ha mai parlato?

C.T. DIFESA FREDIANI - No.

PRESIDENTE - Perché sono cose (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - Fatte dopo, certamente.

PRESIDENTE - Ah, tutto dopo. Va bene.

C.T. DIFESA FREDIANI - L'incidente probatorio è venuto molti anni fa e queste attività si sono fatte dopo.

PRESIDENTE - Sono attività certamente effettuate...

C.T. DIFESA FREDIANI - Studiando quello che ho capito dall'incidente probatorio.

AVV. MAZZOLA - Presidente, agli atti del processo le relazioni del professor Frediani ci sono dal 2011 e 2012.

PRESIDENTE - Con queste... con queste argomentazioni? Con le prove effettuate...?

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Sì?

AVV. MUCCIARELLI - No, alcune delle prove, chiedo scusa, alcune delle prove sono state completate...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Fatte dopo. Ecco, se le producite oggi sarebbe anche per il Tribunale utile.

AVV. MUCCIARELLI - Le slide di oggi...

PRESIDENTE - Se producite anche... cioè, se ci volete mettere in condizioni di capire anche meglio, altrimenti... è un bell'esame ma...

AVV. MUCCIARELLI - Le slide di oggi...

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Ci siamo Avvocato, quando vuole.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Presidente, mi scusi moltissimo. Non ho la vostra tempra. Professore, mi scusi per l'interruzione, la prego di andare avanti. Quindi una volta chiarito che questo... le previsioni sono errate, appunto come... quali... quali sono i passi successivi?

C.T. DIFESA FREDIANI - Una volta capito... anzi, non abbiamo capito ancora tutto, nel senso che volevamo capire quale fosse il materiale, quali fossero i valori costitutivi, cioè di c e di m , in modo tale che la fessura ripercorresse con la legge di Paris i punti sperimentali, i punti reali. Cioè, dicevo: come dovrebbero... la domanda è: come dovrebbero essere c , m e il carico, in modo tale che la fessura... cioè, la propagazione segua la legge corrispondente ai punti sperimentali? Questa è la domanda. Allora, è una domanda che dal punto di vista matematico fa parte di quei problemi di ottimizzazione. Cioè dice: dobbiamo determinare i valori di c , di m e del

carico, che finora è rimasto un oggetto circa di 10 tonnellate, per cui la legge di Paris interpolerebbe i dati effettivi osservati sulla sezione fessurata. Questa è una curiosità che viene in mente, perché dice: ma come devono essere ottimizzati questi valori in modo tale che questo avvenga? Per fare questo si utilizza una procedura di ottimizzazione matematica per determinare la curva che minimizza l'errore, ovvero la media delle differenze fra le lunghezze effettive e quelle previste. Cioè, un metodo che prevede alcune cose, cambio i valori di m ... Facciamo così: facciamo finta di cambiare i valori c , m e p , e ogni volta troviamo una curva diversa. Allora, fra tutte queste curve scegliamo quella che è più vicina ai punti sperimentali. Ecco, così si capisce meglio, anche se non è la procedura dal punto di vista matematico. Questo è per capirci. Allora, si può formulare in questo modo, e cioè: presa una funzione vettoriale, lo dico per gli esperti, in cui i vettori sono tre valori, sono z_1 , z_2 e z_3 , sono m , c e p -massimo, è un problema di ottimizzazione di un vettore, di un campo vettoriale. Ora io non insisto su questo perché vi voglio dare i risultati e non perdere...

PRESIDENTE - Sì, sì.

C.T. DIFESA FREDIANI - ...tempo dietro a queste cose.
Allora...

PRESIDENTE - No, non è una perdita di tempo, però ce le

leggiamo, quindi forse...

C.T. DIFESA FREDIANI - E poi è scritto qua.

PRESIDENTE - Tanto lei ne ha lasciato traccia.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Chi vuole... e poi sono a disposizione, quindi non ci sono problemi. Allora, Δn è il numero di cicli corrispondenti ad un singolo tratto, Trecate-Gricignano; x_1 e x_2 sono i valori della lunghezza di fessura presa sulle marcature e az e fx sono espressi dalle espressioni precedenti che vi ho dato. Allora, tanto per gli esperti, noi abbiamo usato un algoritmo che fa parte della letteratura e si chiama Dogleg, e in particolare abbiamo della letteratura, chi è interessato lo può consultare. Allora, questo... questa procedura, ripeto, che è ripetibile, ciascuno la può utilizzare e può controllare, consente di determinare i valori del vettore che ottimizzano il problema. Cioè, i valori sono 1,5, $3,7 \times 10^{-7}$ e 10. Cioè cosa vuol dire? Il valore di m dovrebbe essere 1,5 e non 2 e rotti, il valore di c dovrebbe essere $3,7 \times 10^{-7}$, e p è 10 tonnellate. In effetti c'è qualcosa che torna. Per esempio, 10 tonnellate in corrispondenza di questi valori è un valore che è di riferimento. Allora...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, perché 10 tonnellate è il valore di...? Perché è il carico effettivo su ciascuna ruota 10 tonnellate?

C.T. DIFESA FREDIANI - Il carico effettivo è leggermente

inferiore alle 10 tonnellate, abbiamo visto che è 9,80... insomma, 9,70, eccetera. Quindi noi troviamo più o meno che il carico è leggermente superiore a quello effettivo, ovviamente però intendiamoci, questo carico è quello che viene spalmato su tutta la lunghezza, quindi localmente il carico può essere anche maggiore su una curva, però poi c'è la parte diritta e i cicli sono tanti e vengono conteggiati. Quindi spalmandolo su tutti i cicli diciamo che alla fine aumentiamo il carico di 3-400 chili per ruota, più o meno.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ma quindi in qualche modo è un valore che parla al dato reale.

C.T. DIFESA FREDIANI - E' un valore che (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sul carico questa interpolazione con il programma Dogleg le permette di trovare un qualcosa che rientra nel mondo reale.

C.T. DIFESA FREDIANI - Certo. Allora, qui abbiamo riportato la curva di ottimizzazione, che è quella marrone, nella slide numero 106. Abbiamo riportato la curva di ottimizzazione, cioè quella virtuale, di quel materiale virtuale, che ha m 1,5, c 10^{-7} p = 10 tonnellate, è riportata nel colore marrone e come vedete interpola i dati, però quello ci racconta che la lunghezza iniziale è 2 millimetri, anche lei. Tutte le altre valutazioni, che sono a gruppi, quelle blu - vedete - sono quelle di Pisa,

quelle nere, le curve in nero con i pallini neri e i simboli neri sono quelle di Lovere 1, e poi ci sono i valori presi sul fronte. Allora, questo ci sta a indicare ancora una volta che di chiacchiere ne potremmo fare tantissime e tutte sarebbero valide se noi non avessimo i punti scritti lì sopra, a maggiore riprova di quello che abbiamo detto. Però nasce un problema adesso. Che senso hanno $m=1,5$ e $c=3,7 \times 10^{-7}$? Un acciaio, un acciaio 1N, ma neanche un acciaio... a parte 1N, che abbia $m=1,5$, $3,7 \times 10^{-7}$, non esiste, cioè noi non abbiamo trovato alcun acciaio nella letteratura - slide numero 107 - che abbia queste caratteristiche, voglio dire cioè che è un acciaio puramente virtuale, è diciamo una struttura astratta matematica, che rende soddisfatti questi punti. Ma lo fa con un materiale che non c'è. Quindi vuol dire che il modello che stiamo usando è un modello che non riproduce... a questo punto c'è rimasta solo la legge di Paris, che non funziona. E allora a questo punto vuol dire che traggo la conclusione che è il modello di partenza, perché abbiamo sviscerato tutti i possibili valori di c , i valori di m tutti i possibili e immaginabili, ma nessuno di questi soddisfa il requisito di passare per i punti sperimentali. Questa è la considerazione che ci porta a dire che il modello non funziona. E questa rappresenta un'ulteriore - la slide numero 108 - che riporta la curva di ottimizzazione, che

ci indica che la fessura era molto piccola, e questi sono i dati diversi, dati di letteratura, che vi fanno vedere che la fessura comunque sarebbe compresa fra 6, 8 e 10 millimetri, ma mai queste fessure... queste leggi di propagazione mai interpretano i dati sperimentali. Questa è la conclusione a cui siamo arrivati. E allora la curva di ottimo individua una fessura iniziale di profondità compresa fra 1 e 2 millimetri. L'ottimo è quella curva che abbiamo identificato all'inizio come quella che ottimizza, nel senso(?) dei minimi quadrati, i punti sperimentali, e corrisponde, una volta capito, che corrisponde a dei dati del materiale che sono 1,5 e $c \cdot 10^{-7}$, che non è un materiale reale, che non esiste. Scusi, un attimo solo.

PRESIDENTE - Siamo ancora alla seconda parte?

(più voci fuori microfono)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi moltissimo. Se non erro, professore, abbiamo terminato la parte che da profano direi più complessa, che è la parte della dimostrazione matematica e adesso andiamo alla validazione sperimentale delle sue conclusioni che voi avete effettuato, quindi ci avviamo verso la chiusura della seconda parte.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. La parte che vi sto per raccontare è questa. Io... dunque, abbiamo preso un assile, che è quell'assile fatto con quel materiale molto vicino al 98331, e l'abbiamo analizzato a prescindere dal 98331,

cioè per capire un fatto fondamentale, cioè cosa succede se invece di considerare l'ampiezza $r=0$, cioè il carico che va da 10 tonnellate a 0, consideriamo il fatto che va da 10 tonnellate a -10 tonnellate. Perché questo è il punto che viene fuori. Cioè, la legge di Paris vale per ampiezza costante, ma non vale per carico alternato, per flessione rotante.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi, professore, lo scopo della prova... cioè, lei ci ha spiegato, e credo l'abbiamo capito tutti e anch'io, che il modello di Paris solo a trazione non è valido. E questo è quello che abbiamo fatto finora.

C.T. DIFESA FREDIANI - A nostro giudizio...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Cioè, è valido in ambito aeronautico, non è valido in ambito ferroviario, perché l'assile è sottoposto a trazione e compressione. Questa prova quindi era volta a fare cosa esattamente?

C.T. DIFESA FREDIANI - A dimostrare sperimentalmente, ecco, con un esperimento finalmente, ecco, finalmente vediamo un esperimento e vi farò vedere una fessura che cammina e com'è fatto l'esperimento, che il passaggio da $r=0$ a $r=-1$ cambia totalmente la velocità di propagazione. E non lo faccio attraverso calcoli, perché sarebbero inutili e abbiamo visto che non abbiamo lo strumento per fare calcoli, visto che la legge di Paris non funziona. Quindi abbiamo uno strumento diverso e di natura sperimentale, e

quindi è inconfutabile, perché alla fine prendiamo un assile e come vedremo troveremo sperimentalmente cose completamente diverse. Questa è l'idea, ecco. Quindi la tesi che voglio dimostrare è che sperimentalmente si può far vedere che la propagazione sotto carico $r=0$ e $r=-1$ è totalmente diversa e quindi quella legge che vale per $r=0$ non vale per $r=-1$, evidentemente, due più due fa quattro, almeno insomma. Allora, questo è il laboratorio del mio Dipartimento nel quale sono state condotte le prove che io vi illustrerò. E questo che vi indico con il mouse, con questa... con il mouse, è il sistema diciamo del telaio di carico con cui abbiamo fatto questi esperimenti... questi dati... abbiamo affrontato il problema sperimentalmente. Ora noi non abbiamo la possibilità di fare prove a flessione rotante, non come nell'assile, ma la cosa non ci interessa per nulla perché in realtà quello che stiamo facendo su quella striscia iniziante non è flessione... non è flessione rotante, è flessione alternata. Abbiamo detto che quando mi limito a quella striscia che va in mezzeria del mio provino dall'alto in basso in verticale, lì in quella zona succede quello che succede in flessione... nell'esperimento che vi sto per raccontare. Allora... allora, il telaio di carico che avevo a disposizione è fatto da quattro colonne e da due basamenti, uno sopra e uno sotto. Questi basamenti sono regolabili in altezza,

in modo tale da poterlo adeguare. Questo è lo schema. Quello che vedete, che vi faccio ora... che vi faccio ora... questo è il telaio di carico, quella... questa è la cella di carico dell'attuatore, questo è l'afferraggio, è un afferraggio nel quale abbiamo collegato un elemento che trasferisce il carico all'assile, cioè nel punto esatto in cui avviene... viene applicato il carico nell'assile reale, nel fusello sostanzialmente, non mi veniva la parola.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi si riproduce, professore, sostanzialmente si riproduce un carico simile a quello che la boccola trasmette...

C.T. DIFESA FREDIANI - Esatto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...all'assile durante la marcia e mi sembra, se ho ben compreso, che per quanto riguarda la zona centrale della frattura, questo esperimento è assolutamente comparabile a quello che succede nella realtà.

C.T. DIFESA FREDIANI - No, non è solo comparabile, è identico, nel senso che il momento flettente, cioè la sollecitazione che esiste in questa sezione, nell'assile reale e in questo è esattamente la stessa. Se il carico è lo stesso, il carico applicato, la tensione è esattamente la stessa perché prescinde da come è fatto il vincolo. Che sia appoggiato per terra oppure sia attaccato a una colonna, è esattamente la stessa cosa. C'è un taglio, che

è dato dal carico, e un momento flettente esattamente uguale che dipende dalla distanza che c'è fra la retta di applicazione del carico e la sezione in cui avviene la fessura. E' esattamente lo stesso. Quindi noi stiamo riproducendo la situazione esatta in termini flessionali di quello che avviene nella realtà. Allora, qui abbiamo... qui vedete l'assile che abbiamo tagliato. Abbiamo costruito una lamatura con delle interfacce che servono per collegare questo oggetto al telaio di carico. Ovviamente abbiamo costruito un'interfaccia che sia d'accordo con le colonne che abbiamo perché questo è quello che avevamo a disposizione. Poi abbiamo costruito, per la cronaca, un sistema per lavorare in sicurezza, per non farci... per montare correttamente, senza avere la possibilità di incidenti. E poi qui vedete una disposizione della ruota montata sul telaio di carico, con l'attuatore che trasmette il carico. Ora qui, per gli esperti, ci sono dei dettagli. Per esempio, questa striscia ha un intaglio, una riduzione dello spessore che serve per non buttare dentro momenti flettenti, ma chi è interessato a queste cose sarò lieto di illustrargliele, insomma, per evitare la introduzione di carichi spuri, tipo momento flettente, dovuto a deformazioni significative, ecco. Gli esperti lo possono... ne possiamo discutere. Ma non è interessante. Allora, questo è modo con cui noi applichiamo lo stesso momento

flettente nella sezione, che è questa, nello stesso modo dell'assile reale. Poi abbiamo fatto la prova... questa è... abbiamo fatto due prove. La prima è questa, su un assile... abbiamo due assili, uno l'abbiamo fatto per mettere a punto la tecnica di prova, non sapevamo i problemi che ci fossero. Parlo della slide numero 114. Non sapendo cosa... abbiamo fatto una prima prova per mettere a punto il sistema, per vedere come misurare la fessura, per vedere se era corretta l'applicazione del carico e così via. E la seconda prova che è quella invece nell'assile... nel materiale che ha la stessa grana, vicino... gemello diciamo dell'assile 98331.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, quindi il secondo, la prova full scale numero 2, è quella sull'assile LKM?

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...del 1974.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Quello sull'assile che ha marchiato "LKM 1974".

AVV. RUGGERI LADERCHI - Che è lo stesso assile da cui avete tratto i provini C.T. che abbiamo.

C.T. DIFESA FREDIANI - I provini C.T.

AVV. RUGGERI LADERCHI - La ringrazio.

C.T. DIFESA FREDIANI - Quello che è importante è che noi abbiamo la congruenza fra i dati c ed m del provino... dei provini C.T., con i dati reali della propagazione. Entrambe le prove sui provini C.T. e su questi

raccontano la stessa cosa, raccontano la stessa propagazione. Quindi in realtà qui facendo le marcature non abbiamo bisogno nemmeno di quei dati, ma in effetti abbiamo visto che funziona. Però vado avanti. Dunque, questo è l'allungamento del braccio che abbiamo fatto per abbassare il livello dei carichi, in modo tale da avere un braccio più lungo e un carico più basso, in modo tale da avere un effetto minore del carico(?). E' un fatto puramente tecnico. Abbiamo spostato la ruota all'esterno del telaio di carico anziché all'interno, ma non cambia niente. I carichi li abbiamo misurati con degli estensimetri. Allora, cominciamo... ecco, per la prima volta voi vedete qui una fessura, un intaglio. Questo si riferisce al provino numero 1, cioè a quello con il materiale che ha la grana più grossa e che vi ho fatto vedere all'inizio della mia esposizione di stamani, cioè quello con quegli intagli, che io vi rappresento qua, fatti con quella mola diamantata, in modo tale da avere in questo punto uno spigolo da cui parte la fessura. Qui vedete anche un'altra applicazione del concetto di *potential drop*. Vedete, qui c'è l'ingresso della corrente, qui c'è l'uscita della corrente, e questo viene fatto in modo tale da capire quando parte la fessura, altrimenti si vede molto male, anche perché questo qui aveva un intaglio, vedete, c'è un intaglio messo nella... aveva un intaglio messo nella sezione della gola, e

questo intaglio ovviamente rendeva difficile valutare l'inizio della propagazione, quindi abbiamo dovuto ricorrere ad un mezzo che era il *potential drop*. Il *potential drop* è collegato a questi due filini solo, che è un voltmetro digitale. Quando il segnale del voltmetro cambia sappiamo che è intervenuta una modifica dello stato di tensione e quindi localmente si è modificato l'apice. Vuol dire che è partita la fessura. Allora, questo è... questo è l'intaglio, ecco, visto più da vicino, e questa è una delle marcature che vi ho fatto vedere anche stamani. Questo è l'intaglio iniziale fatto, ripeto, con i due modi(?). Questo però ci fa osservare che esiste anche una cosa interessante che non avevamo mai notato in precedenza. Vedete queste... queste marcature, questi segni?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, per il verbale, forse ci può chiarire a cosa si sta riferendo? Quindi si sta riferendo ai segni verticali che partono dalla molatura sulla sua slide 118?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente, la slide 118. E all'inizio di queste... della propagazione ci sono dei segni in verticale. Sono segni molto appuntiti, che sembrano una incisione fatta con un utensile molto appuntito che finisce a punta. Ne vedete una qua, ne vedete un'altra qua, ne vedete un'altra qua, ne vedete un'altra qua. Sono cose che avvengono all'inizio della propagazione. Poi vi

spiegherò perché avvengono. Poi le abbiamo verificate qua sopra. Comunque faccio notare la presenza di questi oggetti, che sono anomale in questo contesto e fino ad ora non erano mai state notate, per quanto ci riguarda almeno. Allora, questa è la prova in corrispondenza della lunghezza finale, cioè la prova è partita da questo punto, è propagata con una forma del fronte praticamente orizzontale. Ovviamente lo è perché il carico di flessioni alternate non è di flessioni rotanti. E' questa la differenza. Poi abbiamo fatto diverse marcature più vicine e più lontane, fatte a metà del carico di trazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, questo è un punto che credo sia cruciale. Quando dice "abbiamo fatto delle marcature", come facevate a fare delle marcature mentre questo (sovrapposizione di voci)...?

C.T. DIFESA FREDIANI - Abbiamo ripetuto quello che è successo nell'assile 98331, ovvero abbiamo applicato carichi a $r=0$, cioè da 0 fino a un carico massimo, per esempio 10 tonnellate, 11 tonnellate, per fare un esempio; poi quando siamo arrivati ad un punto e abbiamo visto quant'era questo punto lungo il fronte esterno, abbiamo abbassato il carico fino circa alla metà di quello, e abbiamo ciclato, abbiamo fatto un numero di cicli abbondanti e poi abbiamo proseguito la prova.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi praticamente avete riprodotto

il meccanismo dei viaggi a pieno e viaggi a vuoto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente, abbiamo riprodotto il meccanismo dei viaggi a pieno e della propagazione e a vuoto durante la marcatura, e questi sono i risultati, cioè possiamo vedere le marcature riprodotte facilmente in laboratorio. Questo non è per noi una novità. Noi a Pisa l'abbiamo fatto diverse volte.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, di nuovo con l'autorizzazione del Tribunale le rammostrerei un reperto marcato "provino full scale 1", che andrei a depositare e le chiederei di esaminarlo e di confermarci se è quello oggetto della vostra prima prova di cui alla diapositiva 119, che ci sta mostrando.

PRESIDENTE - Il Tribunale ne dispone l'acquisizione, nonché l'esibizione al consulente tecnico.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Si tratta quindi di una fettina dell'assile di cui lei ci ha mostrato tutte le foto nella macchina?

C.T. DIFESA FREDIANI - Un minuto...

PRESIDENTE - Ha bisogno di qualche minuto, professore?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Se ce la fa, non lo so, facciamo una piccola pausa?

PRESIDENTE - Ha bisogno di qualche minuto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Un minuto solo.

PRESIDENTE - Non ve ne andate, proprio tre minuti e rientriamo, quindi... giusto per il professore, quindi

non andate a prendere il caffè perché non vi troviamo più.

C.T. DIFESA FREDIANI - Grazie.

(Viene sospeso il procedimento alle ore 16:54).

(Viene ripreso il procedimento alle ore 17:00).

AVV. RUGGERI LADERCHI - Signor Presidente, mi scusi, se ho capito bene, mentre mi ero assentato - e di nuovo mi scuso per essermi assentato durante l'udienza - il Tribunale aveva chiesto di poter visionare le relazioni del professor Frediani che sono state depositate presso il Pubblico Ministero ad esito dell'incidente probatorio?

(più voci fuori microfono)

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ah, le slide. Ah, okay.

PRESIDENTE - Le...

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, perché io avevo le relazioni, che poi depositeremo a fine, come...

PRESIDENTE - Ah, a fine esame avete le relazioni. Va bene.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sì, no, non oggi, diciamo, quando terminerà l'esame.

PRESIDENTE - Ma...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quando sarà terminato. Quando terminerà l'esame...

PRESIDENTE - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...il riesame e tutto quanto.

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci) vuole le slide...

AVV. MAZZOLA - Ma le slide le abbiamo, Presidente.

PRESIDENTE - Sì, ma anche... a dire il vero, allora, rigorosità e puntiglio per puntiglio, cioè dovrete almeno depositare quella parte di relazione rispetto alla quale c'è stato fino ad oggi l'esame.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ah. Assolutamente, la depositiamo, ce l'abbiamo pronta per il deposito, signor Presidente, ci mancherebbe altro.

PRESIDENTE - Poi... poi volevamo... volevamo proporre, volevamo proporre con il Collegio, dovremmo essere d'accordo tutti, se andiamo alle conclusioni e depositiamo le relazioni del professore, consentendo poi a tutte le Parti di leggerle, studiarle e di fare un controesame, come dire, consapevole, acquisendo le intere relazioni del consulente con le slide...

AVV. MAZZOLA - Presidente, i consulenti hanno le relazioni del professor Frediani dal 2012.

PRESIDENTE - Queste no, queste...

AVV. MAZZOLA - No, però...

PRESIDENTE - Queste no.

AVV. MAZZOLA - ...le consulenze con l'esperimento e tutto dal 2012. Comunque le slide sono qua. Le consulenze...

PRESIDENTE - No, ma noi pensavamo... pensavamo al Collegio, a dire il vero...

AVV. MAZZOLA - No, sì...

PRESIDENTE - ...non tanto ai consulenti.

AVV. MAZZOLA - Io le ho ma le ho pasticciate. Se mi dà tempo domani gliele deposito non pasticciate, non c'è problema, le relazioni. E' che le ho, ma sono tutte sottolineate.

PRESIDENTE - Non si fuma eh, questo per principio generale. Allora...

AVV. MAZZOLA - Questa è una, gliela do subito.

PRESIDENTE - Quindi no, sull'idea... sull'idea di andare alle conclusioni, Avvocato Ruggeri, Avvocato Mazzola e Avvocato Mucciarelli...

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, Presidente, io mi scuso, abbiamo sentito...

PRESIDENTE - No, almeno per questa parte (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...una serie di conclusioni non giustificate e poi siamo nel mondo dell'opinione in cui ognuno può dire quello che gli pare. Noi vorremmo dimostrare perché queste conclusioni sono qualitativamente diverse da altre conclusioni che abbiamo sentito, che non tengono conto dei dati reali, quindi...

PRESIDENTE - Ma almeno la parte sperimentale... questa parte... nemmeno questa parte sperimentale?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Guardi, credo che andremo in modo molto rapido, ma si tratta di un lavoro molto importante. Il professor Frediani credo l'abbia spiegato stamattina

che questa situazione dell'assile 98331, del tipo di verifiche che loro hanno fatto, si tratta di un qualcosa di assolutamente unico e molto importante, che ha permesso di ottenere delle conferme importantissime e credo che sia importante valutare, perché sennò siamo in una situazione...

PRESIDENTE - Va bene. Allora andiamo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...in cui ognuno può dire quello che gli pare.

PRESIDENTE - ...andiamo veloci e diamo solo atto che è stata depositata dall'Avvocato Frezza la rinuncia alla costituzione di Galano Anna e Nocerino André, così dai prossimi verbali... grazie. Prego, Avvocato Ruggeri.

AVV. RUGGERI LADERCHI - La ringrazio, Presidente. Allora, Professore, quindi eravamo, se non erro lei ci ha detto che avete ottenuto queste marcature dimezzando il carico... e lì c'eravamo interrotti, quindi la prego di continuare.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, è così. Dunque, ho detto che le marcature si possono riprodurre in laboratorio allo stesso modo di quello che è avvenuto nell'assile reale. E quindi sono consapevole che l'assile reale rappresenta delle situazioni fisiche che sono correttamente... sono state correttamente interpretate da chi ha scritto, chi ha definito quelle curve di propagazione. Questa è la mia conclusione. C'è un'altra cosa che si può osservare da

questa... da questa foto della slide numero 119, che, ripeto, rappresenta la sezione dopo la rottura del primo provino. Dunque, la rottura avviene in questo modo: cioè c'è una propagazione fino a un certo livello, poi abbiamo operato un taglio con degli utensili fino a rompere... fino a tagliare la sezione, ma facendola propagare fino a un punto in modo tale da non sciupare, voglio dire, la sezione interna. Quello che si osserva qui, a differenza del 98331, e come vedremo anche a differenza del provino secondo, quello che c'ha la grana fine allo stesso modo del 98331, le marcature hanno una larghezza maggiore e hanno cioè, diciamo, un'evidenza più grande. Questo deriva dal fatto che, come ripetevo stamani, il fenomeno della marcatura consiste, ripeto, non in una cosa fortunata, ma nella presenza di *fretting* interno, cioè nel fatto che le particelle del materiale, della grana, durante la prova di trazione e compressione vengono ad essere compresse una con l'altra e si sfarinano. E ovviamente, quanto più grande è la grana e tanto più larga è la marcatura. Per capire se una grana è grossa o fine, questo lo si capisce subito, nel senso che si stabilisce che è di grana grossa guardando le marcature. Mentre anche come concetto pratico si vede che la grana è fine nel 98331 perché le marcature sono molto più fini di queste. Ecco, io vi faccio vedere, però mi soffermo un attimo su questa figura, che rappresenta, come ho detto,

una cosa anomala e che interpretata in qualche modo potrebbe sembrare una cosa che poi riprenderemo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, quindi per il verbale se ci indica che siamo alla diapositiva 121 e si tratta ancora di quei segni verticali che si vedevano nella zona di inizio della cricca a fianco alla molatura.

C.T. DIFESA FREDIANI - Confermo, è la 121 e mostriamo con il mouse delle linee di direzione sostanzialmente verticale, che nascono in corrispondenza della zona di... della superficie esterna, sostanzialmente. Ora, guardandole da vicino, qui non è possibile, queste... queste linee rappresentano... dunque, ora le vediamo pulite, ma in realtà avevano una polverina rossa tipica di un fenomeno di *fretting* interno. Cioè, in altre parole, quando la fessura inizia non inizia in un piano, inizia in corrispondenza di grani o, diciamo, di difetti superficiali. In questo caso, essendo la molettina fatta di un ente molto... cioè è molto sottile, è due decimi, e molto aguzza, perché sono fatte di parti diamantate, la fessura è nata su uno spigolo, è nata in un pezzettino su uno spigolo e dall'altro sull'altro spigolo, che differiscono fra loro di due decimi, tre decimi di millimetro. Poi quando la fessura cominciava a propagare ovviamente lo stato di tensione è tale da ricondurre tutto in uno stesso piano. In questo processo - poi ve lo svilupperò successivamente un po' meglio - ci sono degli

spigoli che si formano e che durante la prova di trazione e compressione, in questo caso anche di trazione, vengono martellati e producono questo segno. Talvolta questo è stato attribuito ad erosione profonda. In realtà nulla ha a che vedere con questo. Di questo comunque riparleremo. Ed è un fatto per me importante, perché non sospettavo di queste... di queste cose. Allora, qui cominciamo a visionare la prova sperimentale numero 2, cioè quella relativa al materiale che ha più o meno le stesse caratteristiche del 98331, cioè di grana fine. Qui vedete l'intaglio iniziale che, a differenza di prima, con l'egoismo di dire "faccio un intaglio più piccolo così osservo di più la fessura", l'ho fatta... non l'ho fatta con lo spigolo centrale. In effetti la fessura qui è partita... ecco, qui, vedete, il taglio è molto sottile, è fatto con quella fresetta, e gli spigoli molto aguzzi. Qui la fessura... abbiamo messo insieme dei... in piedi dei sistemi diversi. Dunque, qui vedete ancora due conduttori, che hanno lo scopo... qui è su una saldatura a stagno, per vedere la variazione di *potential drop*. Qui c'è... si intravede... siamo nella slide numero 122, si intravede in alto sulla sinistra il bullone... cioè il cavo in cui entra corrente. Qui non si vede quello da cui esce corrente. E dal segnale del voltmetro che segnala una variazione di potenziale si capisce che la fessura ha inizio in qualche parte. Anche qui dovevamo sfruttare

tutta la potenzialità di questa prova, cioè non perdere nulla (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, stiamo guardando... in questo ingrandimento che lei mostra in diapositiva 122 stiamo guardando il collarino di questa sala montata 75870 LKM del '74, su cui avete fatto la seconda prova full scale. Quindi stiamo... questo taglio iniziale da cui avete fatto partire la propagazione l'avete piazzato nella stessa zona della sala montata in cui era la frattura del 98331?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente. Questo è fatto nella stessa sezione... diciamo, in corrispondenza della stessa sezione in cui è avvenuta la fessura del 98331, certamente, cioè nel passaggio all'inizio del raggio di raccordo, come vedete, con la portata di calettamento, allo stesso modo, è simile, anzi la stessa geometria. Poi vedete un'altra cosa, qui sono dei... si chiamano... sono dei filini, si chiamano è una *crack wires*, che è una tecnica usata in aeronautica e nel nostro laboratorio, che consiste nell'incollare dei filini, i quali sono collegati ad un sistema elettronico in cui quando la fessura passa e rompe il filino il sistema elettronico ci segnala che la fessura è arrivata in quel punto. E quindi serve per rilevare la presenza della fessura per stadi successivi. Ora, in realtà purtroppo questo non ha funzionato molto, perché poi c'è stato qualche problema,

ha funzionato per un po' e un po' no. Però in realtà avevamo... vedete, un metodo era questo del *potential drop*, un altro il *crack wires*, e dall'altra parte, da quest'altra parte, dall'altra parte diciamo della superficie, abbiamo tinteggiato la superficie e poi abbiamo posizionato dei microscopi che amplificano la vista della fessura in modo da vederla a vista, di poterla visionare e vederla crescere a vista. Ed è stata quella forse la più importante, perché... anche la più interessante, perché abbiamo potuto seguire l'avanzamento, per la prima volta su un assile, che io non avevo mai visto ovviamente. Allora, questa è diciamo la testata dell'assile che abbiamo visto prima e che abbiamo già individuato, che è stata già fornita, ecco. Ecco, questa è un'altra vista del sistema che abbiamo adottato. Questi sono, diciamo, l'arrivo dei fili del *crack wires*. Qui vedete questi fili che vengono saldati in questi punti e ogni *crack wire* ha il proprio segnale della macchina elettronica che ci segnala il passaggio della fessura. Qui avete una tinteggiatura e qui avete anche sopra una carta millimetrata, che vi dà la scala che noi conosciamo, quindi noi sappiamo esattamente dov'è posizionato questo punto, lungo la superficie esterna. Poi... Questa era la fessura iniziale. Poi abbiamo visto che appena la fessura... abbiamo insomma capito che bianco su bianco si vedesse male, allora abbiamo

tinteggiato di nero, ma non l'ho tolto per non annoiarvi troppo. Come vedrete dopo invece è tinteggiato di nero perché si vede molto meglio con la luce, facendo riflettere la luce, il bianco del metallo riflette benissimo e si vede in maniera molto precisa sullo sfondo nero. Ecco, questo è il posizionamento del microscopio, che abbiamo posizionato e che ci serve per seguire la fessura su questa base, su questo riferimento che è incollato sulla fessura stessa. Vedete, questa è la carta millimetrata. Qui abbiamo prolungato per vedere meglio la lunghezza di fessura quando questa propaga. Ecco, qui questa rappresenta un po' la situazione vista dalla parte non del microscopio, dalla parte opposta, il microscopio è dalla parte opposta rispetto alla sezione di mezzeria, e abbiamo messo questa tinta nera perché, come vedete, riflette meglio la lunghezza di fessura. E questa è come appariva, come si è propagata la fessura durante il viaggio che questo assile ha compiuto da Trecate a Viareggio. A un certo punto si è trovata in questa situazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, mi scusi, quindi cosa intende dire "come si trovava nel viaggio da Trecate a Viareggio"? Cioè, questo rappresenta le fasi finali della propagazione sotto carico?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, rappresenta una fase molto avanzata della propagazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Con... diciamo, quando le fessure normalmente senza carico non sono così aperte o sono così aperte (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, le fessure, diciamo, propagano ancora per fatica, ed è la fase preliminare, diciamo è il penultimo viaggio circa, quello che appariva, è abbastanza lunga ecco la fessura. E quindi la velocità era abbastanza elevata. E quindi qui l'abbiamo rappresentato... abbiamo applicato il carico statico, l'abbiamo aperta e abbiamo fatto la foto, in modo tale da vederla meglio, ecco. In realtà poi questa si apre e poi si chiude. Nella pratica questa si apre... apre e chiude. Ma non chiude mai in maniera completa, perché la presenza della zona plastica all'apice della fessura impedisce una chiusura completa, cioè uno sbattimento. Ma al di là di... questo è un aspetto diciamo fenomenologico, di carattere forse anche secondario. Questa è la stessa fessura vista da quel lato, ed è la forma che assume. Ha deviato dai *crack wires*, quindi ad un certo punto il segnale è sparito, ne sono... hanno funzionato alcuni, ma è un dettaglio. Ora qui, ecco, qui siamo arrivati ad un punto centrale. Di tutta questa... di tutta questa storia che vi ho raccontato siamo arrivati ad un punto che è cruciale e quindi vi prego di considerare queste figure con una certa attenzione. Questa era la sezione finale della... vedete, a seconda dell'illuminazione si vede in

maniera diversa. Vediamo questa. Dunque, questa è la... l'intaglio iniziale fatto con le moline, le molette diamantate. Questa è una parte che vi fa capire ancora una volta cosa... cosa succede, vedete, quando inizia la fessura, cioè la presenza... sto parlando della slide numero... numero 129 e mi sto riferendo a questa parte annerita in alto, e queste righe che sembrano più o meno verticali sono quegli stessi fenomeni visti in precedenza, cioè la presenza di quelle striature che finiscono a punta e vanno in profondità. Ora ritorno al modo di esposizione. Ecco, questo è quello che è successo durante questa prova. Questa prova però l'abbiamo fatta in modo tale da capire qual era la differenza fra $r=0$, o 01 , e $r=-1$. In altre parole, su questa prima parte, la slide numero 129, vedete con colore diverso, leggermente più scuro, una parte della propagazione che è avvenuta... che l'abbiamo fatta avvenire con $r=0$, cioè il caso in cui il carico oscillava fra 10 tonnellate di trazione e $01-10$ tonnellate... 0 sostanzialmente. Quindi $r=01$, $r=0$ o 01 . Quindi è la parte che si riferisce al modello che noi seguiremo con la legge di Paris, cioè carico ad ampiezza costante, ripeto, tutti di trazione, $r=0$. Va bene? La parte invece sottostante, che è quella di colore leggermente più chiaro, è dovuto all'illuminazione, è quella in cui ci sono le marcature relative al caso in cui noi abbiamo applicato una storia di carico fatta per

$r=-1$, cioè da +10 tonnellate a -10 tonnellate. Allora, abbiamo la possibilità di vedere finalmente, ecco dico, uno stesso materiale, quindi il materiale è identico perché l'assile è lo stesso; sono le stesse condizioni di carico oscillante esterno, cioè flessione alternata. Come si comporta la propagazione con $r=0$ e $r=-1$? Allora, qui abbiamo utilizzato la tecnica della marcatura, quella che abbiamo visto e abbiamo messo a punto in laboratorio nel caso del primo provino, quello che ci ha raccontato come si fa a fare le prove. Ora qui non si vede molto bene, ma vi faccio vedere un particolare che si riferisce alla prima zona. Qui, diciamo, con il nostro microscopio e con l'illuminazione giusta si vedono chiaramente. Allora, come stanno le cose? Guardate, su questa superficie qua noi sappiamo quanto valeva la fessura. Perché? Perché abbiamo la lunghezza di fessura misurata con la data, con il valore che avevamo e con il numero dei cicli a cui siamo arrivati. Quindi tornando indietro, per ogni valore della fessura ci siamo fermati con il carico applicato, abbiamo dimezzato il carico e abbiamo fatto la marcatura. Poi abbiamo ripreso, fino ad arrivare ad una lunghezza successiva. Non so, da qui siamo arrivati qua. Ci siamo fermati ancora, avevamo allora il dato della lunghezza di fessura presa sull'esterno ovviamente, non sull'interno, perché quello non potevamo vederlo che non a posteriori. E poi abbiamo applicato di nuovo il processo di

marcaturo, ci siamo fermati, abbiamo ripreso e così via. Allora, noi alla fine di questo processo abbiamo la storia scritta sulla superficie esterna, sappiamo cioè i cicli a cui è avvenuta questa marcatura. Poi, una volta finita la prova, abbiamo fatto... abbiamo tagliato, vedete, con l'utensile l'assile. Qui ci siamo fermati. Qui la prova era finita perché ovviamente non arriva fino in fondo, perché - lo dico, è un fatto per gli specialisti ovviamente - le macchine di prova hanno un controllo in forza e un controllo in spostamento. Voglio dire, non si può rovinare la cella di carico andando a fondo corsa. Allora si mette una sicurezza, per cui quando la deformazione è molto grande si ferma la prova, in modo tale da... poi si rompe dopo con l'utensile. Quindi non è stato, come è avvenuto purtroppo a Viareggio, una rottura in cui c'è stata separazione. L'abbiamo fatta artificialmente, e qui la vedete, è la ragione del taglio con l'utensile. Allora, questo è...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...prima che continui, io le rammostrerei, sempre se il Tribunale è d'accordo, il provino marcato "provino full scale 2" e le chiederei di confermarci che si tratti di quello che è oggetto della sua illustrazione, ossia di una fettina della sala montata 75870 LKM del '74, che è l'oggetto della seconda

prova "full scale". Credo sia utile prenderlo in mano e guardare da vicino, perché è proprio evidente come ci sono queste linee molto fini, come lei ci illustrava e quindi vorrei...

PRESIDENTE - Anche di questo si dispone l'acquisizione e si dà atto che viene esibito al consulente.

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Prego, professore.

C.T. DIFESA FREDIANI - Posso andare?

PRESIDENTE - Prego.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ecco, qui ci sono tutte le informazioni. Ripeto, la prova è stata congegnata in modo tale da avere tutte le informazioni che dovevamo avere per caratterizzare la fase con $r=0$ e quella con $r=-1$. Qui c'è tutto. Non avremmo bisogno dei provini C.T., perché la storia della deformazione, come nell'assile reale, è scritta qua sopra, ovviamente. Allora, vi faccio vedere alcune... una sequenza di immagini relative all'avanzamento della fessura. Ci sono delle date. Questa è la fessura con riferimento diciamo a 3 milli... un dato di riferimento, 3. Questo come vedete è cresciuta, siamo a un giorno dopo. La frequenza è molto bassa, qui andiamo circa dagli 8 ai 10 Hertz. E poi nell'ultima andiamo a mezzo Hertz, perché la fessura cresce molto velocemente, come vi ho detto e abbiamo verificato che è vero. Qui è un'altra... Ecco, qui vedete come si vede bene la fessura

con delle luci radenti e con un microscopio. Quindi le abbiamo viste amplificate, marcate e fatte le marcature in corrispondenza dei fronti in cui siamo arrivati. Questa è ancora un'altra foto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...non voglio essere pedante, però appunto queste immagini 134, 135 e 136, quindi queste sono delle immagini e cosa rappresentano? Il colletto visto dall'esterno, ossia durante la prova, mentre era sottoposto a questi carichi affaticanti...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...nella macchina che lei ci ha descritto?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, rappresenta diciamo la zona... cioè la sezione nella quale avviene la propagazione, che abbiamo detto è il passaggio fra il colletto della portata di calettamento e avviene lungo una sezione che è questa. E rappresenta la lunghezza di fessura, la si vede, è questa linea bianca, nella slide numero 134 è quella che va in diagonale e che è facilmente osservabile.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Questo... osservandola ovviamente voi non eravate all'interno del metallo; l'interno del metallo lo osservavate col *potential drop* e quant'altro. Osservavate qui la superficie del metallo?

C.T. DIFESA FREDIANI - Dunque, questa è una foto fatta dall'esterno. Noi però osservavamo con il microscopio. La foto attraverso il microscopio era un problema, perché abbiamo la testa per farlo, ma non ci entrava. Quindi il microscopio l'abbiamo osservato a occhio, ci siamo fermati e abbiamo le misure precise che abbiamo determinato e prese come riferimento. Poi abbiamo fatto delle foto esterne con una macchina fotografica, ma ovviamente non rendono come nel caso del microscopio. Voglio dire che l'accuratezza è molto.. è molto elevata, ecco.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ovviamente...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci)

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...però facevate le marcature con quel lavoro dei carichi...

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...pieno/vuoto e quindi una volta aperta poi...

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...potevate vedere.

C.T. DIFESA FREDIANI - Quindi questi fronti poi li abbiamo raccordati con il microscopio con l'illuminazione e abbiamo ritrovato tutte le marcature che avevamo sulla superficie, in maniera molto... molto precisa. Ecco, questa è un'immagine - alla slide numero 135 - in cui vedete che la fessura continua a camminare. Prima eravate

a 3, ora siamo a 6. Qui siamo a 8-9 e così via. Ora io vorrei farvi vedere un filmato che vi dà l'idea di cosa succede quando si propaga una fessura. L'ho fatto con il filmato ripreso durante la prova. Ecco, guardate, guardate la frequenza del carico. Diciamo insomma intorno a mezzo Hertz. Perché mezzo Hertz? Cioè, mezzo... cioè, per fare un ciclo ci mettiamo due secondi, più o meno. Un ciclo intendo andata e ritorno. Perché? Perché la fessura comincia a crescere molto velocemente. Vedete queste... queste frange? Sono quelle che corrispondono all'inizio di un processo in cui si somma la fessura alla propagazione quasi statica, tipo nell'ultimo viaggio, quello che è successo diciamo a Viareggio. Quindi vedete, andiamo a bassa frequenza.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, quando dice che "andava a mezzo Hertz" quindi questo è come se il treno andasse molto lentamente, molto più lentamente di quanto andava nella realtà?

C.T. DIFESA FREDIANI - Scusi, non ho...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, quindi quando lei dice "andava a mezzo Hertz" è come se il treno andasse molto più lentamente di come andava nella realtà. Nella realtà andava a 9 Hertz, mi sembra.

C.T. DIFESA FREDIANI - Beh, diciamo, per fare un ciclo ci mette due secondi, un giro della ruota, quindi... boh, si fa presto il conto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Va bene.

C.T. DIFESA FREDIANI - Si fa presto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Comunque...

C.T. DIFESA FREDIANI - Come se viaggiasse molto, molto lentamente, ecco, a fare un giro della ruota ci mettesse due secondi. Un giro di ruota è circa tre metri, no? Quindi è come andasse a un metro e mezzo al secondo, quindi per 3,5 sono 15 chilometri all'ora, 10 chilometri all'ora, insomma un ordine di grandezza...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi nella realtà andava molto più veloce di così.

C.T. DIFESA FREDIANI - Andava molto più veloce.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quando il treno viaggiava a 100 all'ora.

C.T. DIFESA FREDIANI - Andava molto più veloce, sì, tutto...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, qui... scusate... Ecco, qui siamo al recupero dei dati finali. Filo destro vuol dire diciamo espansione a destra ed espansione a sinistra. La fessura...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mi scusi, professore, quando diciamo "qui" siamo alla slide 138.

C.T. DIFESA FREDIANI - 138.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E questa quindi è la mappatura che lei ha fatto dei fronti di frattura che si leggono nella sezione di sala montato che abbiamo appena depositato al

Tribunale. E' praticamente l'equivalente della mappatura di Ghidini che lei ha fatto sul suo campione?

C.T. DIFESA FREDIANI - Lo confermo, sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Slide 138, giustamente. E qui osservate due campi, uno con le marcature più fitte. Vedete, questo è il campo con $r=01$. Invece quello con le marcature più rade sono $r=-1$.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, lei ce l'ha già detto forse altre volte e sono sicuro che il Tribunale l'ha notato, però giusto per noi, $r 01$ vuol dire solo trazione come nel modello dei suoi autorevoli contraddittori, $r -1$ vuol dire trazione e compressione come nel modello reale? Ce lo conferma?

C.T. DIFESA FREDIANI - Lo confermo. Ma aggiungo anche che $r=01$ vuol dire che il carico va da 0, il carico oscilla da 0 a 10 tonnellate e $r=-1$ vuol dire che va da 10 a -10. Quindi l'ampiezza del carico è doppia e questa è una differenza molto, molto importante, che poi ha degli effetti di cui vi parlerò poi successivamente (sovrapposizione di voci)...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi $r 01$ è il caso della fusoliera dell'aereo, solo trazione.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Mentre $+10/-10$ è quello che succede a una ruota di un treno.

C.T. DIFESA FREDIANI - Ecco, qui i due campi con trazione e trazione e compressione sono stati marcati con delle righine azzurre, che delimitano il campo della propagazione di Paris, diciamo, da quello di non Paris, ecco, tanto per capirci. Ecco, questa è una situazione estremamente interessante, perché ci consente di valutare cosa succede in questo primo tratto e cosa succede in questo secondo tratto, a parità di condizioni, stesso materiale, stessa situazione di carico, di flessione rotante... di flessione alternata e così via. Ora qui ho raccolto in questa tabella, nella slide numero 139, i dati. In alto sono qui su sfondo bianco, relativi al numero dei cicli e ai vari campi, con le marcature. Vedete, dunque, il campo 1 vuol dire marcature 3 e 4; il campo 2 marcature 4 e 5; il 3, 5 e 6 e così via. Torniamo indietro. I campi, vedete, 3... marcature 3, 4 e 5 sono numerati qua sopra, e i campi che sono quelli che vanno dalla marcatura 3 alla marcatura 4 sono indicati con 1, 2 e così... in successione. E qui sulla colonna a destra sono indicati il numero di cicli che ci vogliono per passare da un campo all'altro. Vedete che il passaggio dal campo 3, il primo campo, ha un numero di cicli molto elevato, perché corrisponde alla necessità di far nascere la cricca. E' il solito discorso che diceva anche il professor Toni, cioè per far nascere la cricca ci vogliono molti carichi e tempo lungo. Ora qui ci vuole

solo un milione e otto, perché dobbiamo applicare un carico molto elevato, diciamo molte tonnellate. E poi l'abbiamo successivamente per gradi abbassato, in modo tale da riportare un carico intorno a 10, 12, 11 tonnellate, per condurre le prove con un tempo ragionevole. Il valore del carico non ci interessa molto, perché noi ragioniamo non in valore del carico ma con il fattore di intensità degli sforzi, quindi prescinde da quanto vale il carico, tiene conto di questo anche, tiene conto anche del valore del carico ovviamente. Allora, nella prima parte abbiamo usato un carico elevato per far nascere la fessura. Poi per gradi lo abbiamo abbassato, ma la prima marcatura non l'abbiamo fatta finché non abbiamo avuto a disposizione il carico abbassato fino al livello che ci interessava. Questo dal punto di vista metodologico. E poi questi carichi e questa successione l'abbiamo fatta ad un carico sostanzialmente costante, cioè di ampiezza costante. Poi nel campo inferiore ci sono i campi segnati in giallo, che rappresentano il campo 9, 10, 11, 12, quindi sono 6 campi che vanno fra la marcatura 11 e 12, 12 e 13, eccetera, e in corrispondenza sono segnati i valori del numero dei cicli. Allora, il numero dei cicli sono quelli che avete visto...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, quindi ci conferma che l'area in bianco nella tabella corrisponde all'area che era in grigio nella mappa prima, ossia

l'area con $r = -1 \dots r = 01$, mentre l'area in giallo corrisponde all'area che era in bianco nella... nella mappa?

C.T. DIFESA FREDIANI - Esattamente. Nella slide 138 avete due campi. Quello segnato dalle righe insomma azzurre corrisponde a $r=01$ ed è lo sfondo bianco nella tabella che vi ho presentato; l'altra invece è lo sfondo giallo e si riferisce a questo campo in bianco, con sfondo bianco, con $r=-1$. E sono queste due.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Grazie.

C.T. DIFESA FREDIANI - Allora, adesso... adesso purtroppo non abbiamo carta e penna noi per fare i conti e quindi ci siamo messi di nuovo nella situazione in cui abbiamo affrontato il problema esattamente come quello dell'assile 98331, ovvero...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore mi scusi, prima che passa dai conti, che sono sempre un po' ostici, io ho un'altra domanda relativa alla tabella, mi scusi tanto, è stato più veloce di me. Sulla 138 e 139 io osservo che il numero di cicli si riducono progressivamente nella tabella, quindi questa è la ragione per cui le marcature e i viaggi, per così dire, sono spazati in modo relativamente omogeneo sul provino? Perché invece, diciamo, se io osservo questa mappa vedo che i fronti sono... le marcature sono relativamente vicine e però, osservo nella tabella, non avete fatto lo stesso numero

di cicli tra le marcature, avete progressivamente ridotto la distanza, è come se aveste (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, non abbiamo fatto questo, perché nella realtà seguire il numero di cicli vorrebbe dire magari quando la sezione aumenta, si sta ingrandendo, vorrebbe dire fare un pezzo troppo corto. Allora l'abbiamo fatto alla rovescia, abbiamo seguito sull'esterno la lunghezza di fessura in modo tale che avesse da quella precedente ben distinguibile, e ovviamente in modo tale comunque da mettere all'interno di ogni campo un numero adeguato di valore, quelli possibili, ecco.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ma quindi il fenomeno...

C.T. DIFESA FREDIANI - Poi abbiamo...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Il fenomeno è analogo a quello dell'assile reale, semplicemente lì il viaggio era fisso e l'area aumentava ad ogni viaggio, qui l'area è più o meno la stessa perché ogni viaggio era progressivamente più corto, come vostra (sovrapposizione di voci)?

C.T. DIFESA FREDIANI - Il fenomeno è certamente lo stesso, ma non è esattamente lo stesso, perché nell'assile 98331 c'è di mezzo la flessione rotante che cambia la forma esterna. Non possiamo seguire quella. Nel nostro caso invece, come vedete, è un tipo assolutamente diverso e quindi ci siamo attenuti a un nuovo tipo di prova che

avevamo a disposizione. Quell'altro ovviamente non ci fa... non ci dà alcuna informazione da questo punto di vista. Allora, non so, da un punto di vista qualitativo, guardate, siamo nella slide numero 138, nel passaggio dalla decima all'undicesima marcatura e avete a disposizione... cioè, questo avviene in presenza di 50.200 cicli, anzi 48.000... cioè, da una parte c'è la sequenza... c'è il numero dei ci... scusate... dunque, Δn è il numero dei cicli fra una marcatura e quell'altra, sì. Non mi ricordo più cos'è questo... va beh. Non me lo ricordo più, ma basta controllarlo con la tabella dopo, ecco.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco.

C.T. DIFESA FREDIANI - Basta controllarlo con quello. Non mi ricordo più. Dunque, guardate, da 2 a 3... da 3 a 4 è questo... 54.330. E questo... ah no, non torna... 4 e 5... 232.000... 181.000... non mi... come mai...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore...

C.T. DIFESA FREDIANI - No, perché...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Io volevo giusto far emergere questa...

C.T. DIFESA FREDIANI - ...ci sono... tra parentesi ho il Δn , cioè i cicli che ci vogliono da un passo a quell'altro, che vanno sommati, ecco.

AVV. RUGGERI LADERCHI - E' stato chiarissimo. Io volevo giusto far emergere che questa... il numero dei cicli si

riduceva progressivamente e credo che lei ce l'ha chiarito in modo egregio e quindi (sovrapposizione di voci)...

C.T. DIFESA FREDIANI - (sovrapposizione di voci) presentazione diversa dalla tabella e quell'altra, però il valore del numero dei cicli nel passare dal campo 3 sono questi... questi qua. Prima ci sono due dati, uno in sequenza e un altro di differenza, ma fa un po' confusione. Comunque questo è il dato di riferimento. Allora, qui abbiamo i diversi valori del... dunque, abbiamo diversi fronti di fessura, come vedete. Per ogni fronte di fessura, l'abbiamo disegnato qua e non sono stato... non vi riporto ovviamente tutto il modello ad elementi finiti. Ogni fessura ha un modello ad elementi finiti, c'ha diversi punti lungo il fronte, lo vedete, per questi fronti finali; ha definito in ogni punto un piano, ha definito dodici circuiti e così via, come prima.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Quindi avete utilizzato quella stessa procedura matematica che ci ha spiegato prima nel pomeriggio, che avete utilizzato sull'assile reale.

C.T. DIFESA FREDIANI - Certamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Io la darei per acquisita, senza ripetere. Comunque avete fatto quel calcolo particolarmente accurato, come ci ha descritto.

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì. Ecco, qui non l'ho riportata per non annoiarvi. Insomma, la procedura è esattamente la

stessa.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Sono certo che se qualcuno ha domande sulla procedura gliele farà in controesame.

C.T. DIFESA FREDIANI - E abbiamo riportato la formula del fattore di intensità degli sforzi partendo da un punto su una superficie fino ad arrivare a quell'altra, dalla parte opposta. E poi abbiamo preso come riferimento il 50 per cento circa e abbiamo rifatto lo stesso percorso ovviamente del caso precedente. Ecco, qui abbiamo... vi riporto, per sintesi ovviamente, lo stesso... il valore del fattore di intensità degli sforzi è dimensionato con σ radice di πa , come abbiamo fatto in precedenza lungo i vari fronti. E qui abbiamo riportato la sintesi di tutti questi calcoli lungo i diversi fronti di fessura nella zona mediana. Allora, in questo caso la forma geometrica, a differenza del caso precedente che era una quadratica, questa è una curva del quarto ordine, che vedete qua, e i punti sono interpolati molto correttamente. Alla fine tutto questo calcolo ci ha portato ad avere una legge, che è questa, che è interpolabile con una funzione matematica che è questa, con i minimi quadrati. Diciamo, siamo alla slide numero 142. Trovate adimensionalizzazione con il fattore di intensità degli sforzi di Griffith, che vuol dire σ radice di πa . E' un nome tecnico, insomma, per gli esperti di questo settore. Allora, nella slide numero 143 riassumo un concetto in

questo modo. Dunque, è noto il carico affaticante applicato durante la prova e durante la stessa prova sono state effettuate le marcature, alle quali è associato il relativo numero di cicli. Questi dati ovviamente sono sufficienti per determinare sperimentalmente la legge di propagazione della fessura. Cioè, conosciamo quanto avanza la fessura per intervalli e numero di cicli. E' quello che vogliamo determinare, è quello che ci ha raccontato il 98331, è quello che ci racconta questo, con la stessa procedura con cui abbiamo fatto... abbiamo marcato i fronti, è esattamente la stessa cosa. La prima parte della prova è stata condotta con $r=01$ e la seconda parte è stato applicato $r=-1$.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Professore, di nuovo per... $r=01$ vuol dire solo trazione, che non è il caso di un assile ferroviario, e $r=-1$...

C.T. DIFESA FREDIANI - Ovviamente.

AVV. RUGGERI LADERCHI - ...trazione e compressione. Cioè, ce lo specifichi perché sennò ci perdiamo.

PRESIDENTE - Quante volte?

C.T. DIFESA FREDIANI - Ma credo che lo abbiamo imparato, credo, a questo punto credo che lo abbiamo imparato tutti.

PRESIDENTE - L'abbiamo ripetuto quante volte?

C.T. DIFESA FREDIANI - Sì, appunto dico... Allora, direi a questo punto che abbiamo il risultato finale, che secondo

me rappresenta una cosa che non avevo mai visto, che dal mio punto di vista di ricercatore spiega tutto l'arcano a cui siamo stati di fronte fino ad ora. E l'arcano è questo. Se utilizziamo la legge di Paris, pensate, il primo tratto è quello relativo a $r=01$, in cui vale la legge di Paris. Sulla legge di Paris noi conosciamo i valori c ed m , perché li abbiamo determinati con le nostre prove, fatte con quella maniera accurata che vi abbiamo detto, e usando quei parametri della legge di Paris abbiamo interpolato i dati sperimentali. Torna esattamente. Lo vedete qua. E' la parte a sinistra della curva a pagina... alla slide numero 144. Questo è il valore numerico, cioè la curva che interpola... la curva di Paris, diciamo, con c ed m , relativa a questo materiale, esattamente questo materiale, e questi sono i dati sperimentali che vengono seguiti in maniera precisa. Qual è il problema? Il problema è che abbiamo scoperto finalmente che quando io cambio la curva con $r=-1$ la velocità di propagazione non cammina secondo... non prosegue secondo questa curva, cioè non prosegue secondo questa legge individuata dalla legge di Paris, ma si muove in maniera tutta diversa, cioè, come vedete qua, ha una velocità di propagazione nettamente diversa. Quindi il fatto è che noi stiamo applicando al modello della flessione alternata, in questo caso, che è la stessa cosa che corrisponde alla flessione rotante considerando la

fetta nel mezzo. Sono esattamente la stessa cosa. Stiamo applicando questa legge definita dalla curva azzurra alla legge... ai dati sperimentali rappresentati e interpolati dalla curva nera. Quindi è chiaro che l'errore sta qui, cioè la legge che abbiamo... che abbiamo assunto a priori, salvo verifiche ovviamente, se valeva la legge di Paris, la risposta è questo diagramma: la legge di Paris non vale, perché se valesse, nel caso... se le cose fossero tali che con $r=-1$ la fessura prolunga uguale a $r=0$, i punti sperimentali starebbero sul prolungamento di questa curva azzurra. Quindi significa - e concludo - che tutti i ragionamenti che sono stati fatti fino ad oggi, non solo da chi si è occupato di questa questione, in questo processo e fuori dal processo, purtroppo, che sono fondate sull'uso della legge di Paris per caratterizzare questi fenomeni, sono sbagliati, e questa è la prova. Io prendo questa figura come dimostrazione finale che abbiamo tutti preso un abbaglio adottando una legge che non è valida nel caso in esame. E questo conclude la mia presentazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - La seconda parte della sua presentazione?

C.T. DIFESA FREDIANI - La mia... la seconda parte della mia presentazione.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ecco, io allora...

C.T. DIFESA FREDIANI - E spero anche la giornata, se mi

permette, spero.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Presidente, io se per il Tribunale va bene, ho anche con me il provino C.T. 22 e C.T. 21 utilizzati nelle prove di cui si parlava e provvederei al deposito anche di quelli.

PRESIDENTE - Li acquisiamo.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Dopodiché noi abbiamo le diapositive testé mostrate dal professore. Purtroppo non ne abbiamo una copia per tutti ma ne abbiamo per il Tribunale e forse per i Pubblici Ministeri e qualcuna delle Parti Civili. Dopodiché... e queste le potremmo depositare subito. Per quanto riguarda la relazione, io prendo atto del suo invito a depositarla. Diciamo, noi per chiarezza... ci sono due relazione del professor Frediani relative a questi temi; una è stata depositata presso il Pubblico Ministero in data 16 luglio 2012 e l'altra in data 04 dicembre 2012. Noi contavamo di depositare alla fine. Se volete le possiamo depositare anche oggi, ma al fine del controesame ovviamente tutti i colleghi le hanno. C'è una sola circostanza relativa alla relazione del 04 dicembre... mi scusi, del 16 luglio 2012, la prima. Sono state riscontrate... un errore nella numerazione, nella didascalia di alcune figure, semplicemente diceva "figura 1" piuttosto che "figura 2", degli errori puramente materiali, che noi quindi provvederemmo, però non l'abbiamo oggi; oggi abbiamo con

noi la copia che è nel fascicolo del Pubblico Ministero; provvederemo a depositare una versione in cui questo elemento è corretto. Di nuovo, questa relazione è stata... diciamo, nella sostanza non cambia nulla, si tratta della correzione di delle sviste di carattere tipografico. A parte diciamo la stanchezza del professore, io vedo che le parti successive sono molto sostanziose... cioè abbastanza sostanziose e quindi, Presidente...

PRESIDENTE - Certo ormai a quest'ora... sono le sei. Avvocato, ma quindi c'è una relazione che riassume il contenuto delle...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Esistono...

PRESIDENTE - ...(sovrapposizione di voci) tra virgolette odierne, di oggi?

(più voci fuori microfono)

PRESIDENTE - Ah, no. Ci sono le slide sostitutive della... ah, non c'è quindi una relazione ulteriore. Ah, perfetto.

AVV. RUGGERI LADERCHI - No, no. No, no.

PRESIDENTE - Era questo. Perfetto. Ora... ora è tutto più chiaro. Benissimo. Quindi poi depositerete quindi le due relazioni che già sono agli atti perché erano allegate...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Agli atti del fascicolo... salvo la correzioni di questi errori tipografici in una delle due.

AVV. MAZZOLA - Adesso solo le slide.

AVV. RUGGERI LADERCHI - Ora solo le slide.

PRESIDENTE - E il contenuto... non per chiedervi, ma siccome è bene capirle le cose. Nella prossima udienza saranno trattati argomenti che sono o non sono contenuti nelle relazioni già depositate?

AVV. RUGGERI LADERCHI - Come diceva, mi permetto di citare il professor Mucciarelli in quella introduzione che ha fatto stamattina, appunto era la mappa della strada da fare. Nella parte terza c'è un'analisi...

PRESIDENTE - Una confutazione delle...

AVV. RUGGERI LADERCHI - Diciamo, la sostanza in parte... ma si tratta ovviamente di cose che sono state spiegate anche qui in udienza e per definizione non erano disponibili nel 2012. E la parte quarta, si tratta di un tema che di nuovo non è trattato in quelle relazioni, che è il tema dell'origine della frattura, come indicato dal professore.

PRESIDENTE - Va bene. Allora quindi per proseguire nell'esame del Frediani, eventualmente dell'ingegner Binante, rinviando a... ci eravamo dati come udienza il 27 aprile, quindi rinviando al 27 aprile e ovviamente il rinvio avrebbe anche la finalità di procedere ai controesami ed al riesame, cioè di chiuderla questa... questa parte di prova dichiarativa e valutativa. Allora, invece il 20 aprile, secondo questa scansione che vi viene data autonomamente, dovrebbe essere la volta dell'ingegner Resta.

AVV. MOSCARDINI - Del professor Resta, sì.

PRESIDENTE - Del professor...

AVV. MOSCARDINI - Dell'ingegner Resta.

PRESIDENTE - ...Resta.

AVV. MOSCARDINI - Che ovviamente è confermato.

PRESIDENTE - E' confermato. Va bene. Allora ci vediamo quindi il 20 per Resta.

P.M. GIANNINO - Presidente, volevo...

PRESIDENTE - No... il Pubblico Ministero, un attimo, il Pubblico Ministero.

P.M. GIANNINO - Non su quanto è stato fatto oggi, ma volevo chiedere se c'è stata qualche comunicazione ufficiale degli impedimenti prospettati in maniera generica alla scorsa udienza. Si era detto...

PRESIDENTE - L'unica...

P.M. GIANNINO - ...che sarebbero stati depositati i documenti relativi agli impegni.

PRESIDENTE - L'unica è dell'Avvocato Stortoni, alla scorsa udienza fu depositata dall'Avvocato Stortoni, già alla scorsa udienza. Non ci sono altre comunicazioni.

P.M. GIANNINO - Nessun'altra comunicazione. Grazie.

PRESIDENTE - Ovviamente saranno... questo lo ribadiamo, che gli impedimenti adottati delle Parti saranno valutati, come sapete naturalmente, e questo ovviamente potrebbe implicare, ove accolti, anche la sostituzione di qualche udienza nella giornata del sabato. E quindi questo ve lo

anticipiamo, così vi organizzate anche i weekend.
Buonasera. L'udienza è chiusa.

Il presente verbale, prima dell'upload a Portale Giustizia per la documentazione e certificazione finale del computo dei caratteri, risulta composto da un numero parziale di caratteri incluso gli spazi pari a: 365638

Il presente verbale è stato redatto a cura di:
SENTOSCRIVO Società Cooperativa

L'ausiliario tecnico: SPINELLI SIG.RA MARILENA - Stenotipista
SPADON SIG.RA MIRELLA - Trascrittrice

Ticket Udienza n° 62086

ID Procedimento n° 208458