

**PROGETTO FUOCO**  
*Fiera di Verona 21-25 Febbraio 2018-02-23*

COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLE STRUTTURE LIGNEE  
Seminario 24.02.2018

**Valutazione delle resistenza residua delle strutture lignee dopo l'incendio**

Arch. Gerolamo Stagno  
Dott. Arch. Linda Secondini

L'incendio, come è generalmente noto nell'immaginario collettivo, rappresenta sempre un momento catastrofico del ciclo di vita di una struttura di qualsiasi materiale sia composta

E' forse, dopo il terremoto, una delle esperienze più drammatiche cui può essere soggetta una costruzione; con la differenza che al Fuoco, sia nei primi momenti in cui si genera che durante il processo successivo, la mano dell'uomo può porre limiti e difesa all'estensione del danno e limitarlo; purtroppo per gli eventi sismici non occorre attendere che cessi lo "sciame sismico" e ricostruire o riparare ove possibile ma soprattutto prevenire

Le esperienze di seguito brevemente descritte rappresentano episodi di incendi parziali di strutture storiche in legno massello, che hanno posto in essere problematiche di diagnosi , verifiche strutturali e conseguente riabilitazione

Prima di venire alla descrizione dei casi alcuni cenni di Teoria della Combustione del Legno

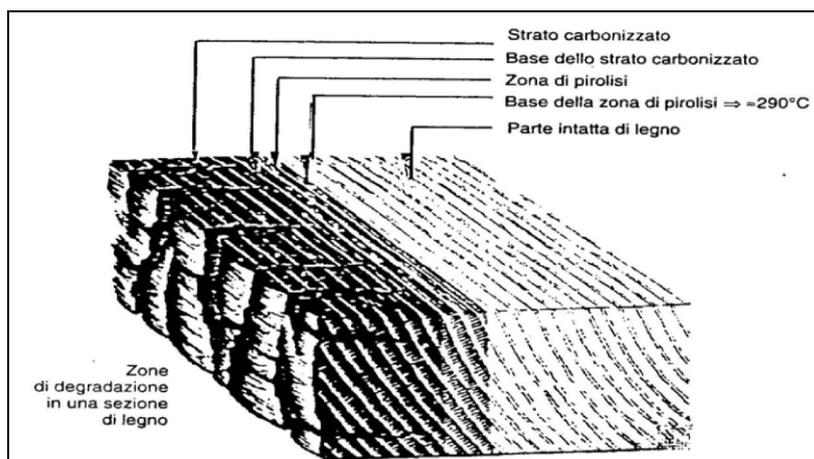
Nel caso di incendio si possono verificare due fenomeni: il primo, detto Pirolisi, avviene in assenza d'aria e produce un residuo carbonioso; il secondo, la combustione viva, si sviluppa in presenza di aria lasciando ceneri.

In presenza di una fonte di calore la superficie libera dell'elemento di legno si riscalda provocando:

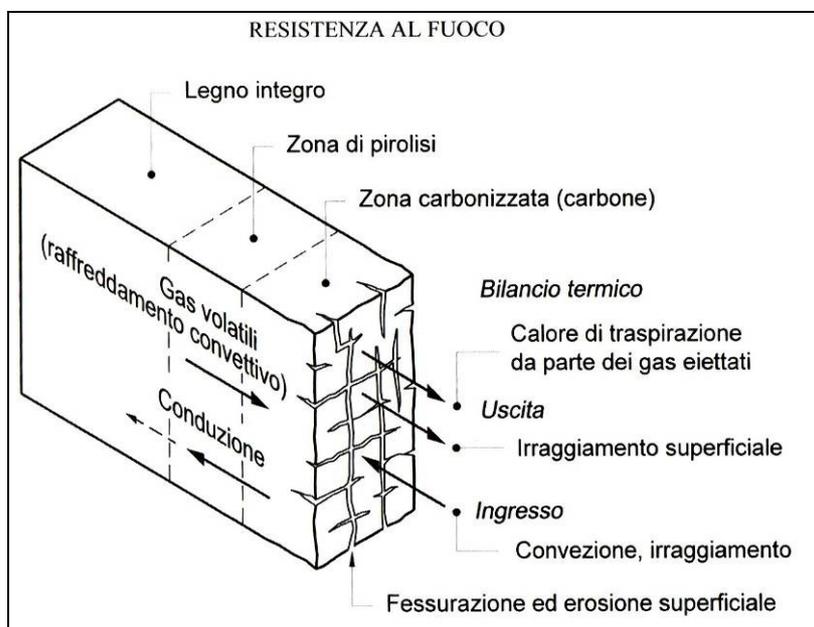
- Evaporazione dell'acqua interna
- Serie di reazioni chimiche interne che spezzano le molecole organiche in molecole semplici in grado di liberarsi dalla superficie del materiale
- Liberazione di idrogeno e di altri idrocarburi leggeri combustibili che si accendono per autocombustione o per effetto di una fiamma

In presenza di una sorgente di calore la superficie del legno si carbonizza mentre gli strati interni del legno conservano le loro caratteristiche fisiche e meccaniche sino a quando non sono anch'esse raggiunte dal fronte di carbonizzazione

La velocità di penetrazione della carbonizzazione, tenendo conto anche della specie legnosa, è sostanzialmente costante e consente di stimare nel tempo la riduzione dimensionale dell'elemento considerato.



*E. L. Schaffer, C. M. Marx, D.A. Bender, F. E. Woeste, Res. Pap. FLP 467, USDA Forest Service, Forest Product Lab., Madison (1986)*



*M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena, Strutture in legno, Biblioteca tecnica Hoepli, 2005, Milano*

VELOCITA' DI PENETRAZIONE DELLA CARBONIZZAZIONE			
Specie legnosa	Penetrazione (mm/minuto)		
	Dopo 10'	dopo 20'	dopo 30'
abete rosso	0.68	0.78	0.70
castagno	0.92	0.64	0.78
douglas	0.75	0.70	0.63
larice	0.62	0.58	0.61
pino silvestre	0.53	0.50	0.52
faggio	0.72	0.77	0.69

Nota: Da studi e ricerche condotte dal C.N.R. - Istituto per la tecnologia del legno, di S. Michele all'Adige (TN)

*M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena, Strutture in legno, Biblioteca tecnica Hoepli, 2005, Milano*

## I casi in esame

Il primo trattasi di impalcati lignei prevalentemente in abete rosso posti in un edificio nel Centro Antico di Genova in immobile a destinazione residenziale ove seguito di incendio generatosi per corto circuito elettrico nell'impianto lice si sviluppa rapidamente il rogo.

In questa circostanza alle difficoltà di intervento, se ne aggiunge una fondamentale: **l'accessibilità al sito**. Siamo al settimo piano di un edificato con costruzioni a schiera in muratura, orizzontamenti lignei di diversi piani e vie di scorrimento pedonali meglio noti come "vicoli" nel "cuore storico" della città antica; le scale di accesso sono strette quindi anche l'attività dei soccorritori richiede più tempo lasciano spazio alla combustione.



Spento il rogo, resa inagibile la parte oggetto delle fiamme, si pone la **valutazione del danno** e naturalmente la sistemazione dei residenti sia direttamente coinvolti che degli immobili confinanti (parametro da non sottovalutare nel calcolo dei danni complessivi e nell'accertamento delle cause con successivi costi di risarcimento).

Vengono poste opere di messa insicurezza e si procede con la Diagnosi, propedeutica alle verifiche strutturali .

Si pone in essere tuttavia un secondo elemento di valutazione: il danno non solo del fuoco ma anche da **acqua di spegnimento** successiva. Siamo in fatti in presenza di forti escursioni termiche generatesi violentemente e velocemente sulle strutture.

Purtroppo i Verbali di intervento dei Vigili del Fuoco talvolta non riescono a stabilire i tempi di durata dell'incendio ed i materiali causa di questo, dati che renderebbero più semplice definire la valutazione della "Velocità di Combustione" quindi di penetrazione nel materiale con successiva pirolisi i e carbonizzazione .

Ma se gli effetti del danno da fuoco sono cessati, non è così per quelli da acqua ed è noto come il rapporto umidità e legno non debba superare determinate soglie di percentuale ideali al 12% e tollerabili fino al 20%.

Occorre inoltre tenere conto che, durante la fase di spegnimento, le strutture stesse vengono letteralmente inondate da forti getti di acqua in pressione con eventuali soluzioni addittivate a seconda di quello che deve essere spento.

Quindi si pone anche il quesito sulla validità che possano avere certi risultati ottenuti da prove sul legno se rilevati in tempi brevi dal termine dello spegnimento dell'incendio

Nel caso si è proceduto, previo un minimo tempo di attesa a misure successive, ponendo nei locali sensori termigrometrici al fine di valutare le variazioni fisiche del microclima

Le misure eseguite, prima fra tutte la determinazione del tenore di umidità sono state interpretate come una sorta di **"monitoraggio"** giungendo in tempi abbastanza brevi a poter considerare gli elementi lignei stabilizzati come percentuale di umidità.

E' parametro da non sottovalutare e anche il fatto che siamo in presenza di strutture storiche, nel caso in essere con circa duecento anni di vita, ove la **"verifica del tempo"** assume un valore e soprattutto è ormai completata la stagionatura del materiale salvo recenti ristrutturazioni.

È stato applicato il procedimento convenzionale per la valutazione delle caratteristiche del legno comprensivo di Protocollo di Ispezione Tecnologica e di successive indagini sclerometriche tramite Pilodyn e Resistografiche sia su elementi incendiati che non.

Si è proceduto anche alla **misura della deformazione** assunta dalle travi mediante metodi topografici pur considerando gli effetti della deformazione differita del legno sommati a quelli dell'incendio.

Per gli elementi interessati, le misure di cui sopra sono state intensificate proprio in funzione delle sezioni variabili che le travi presentavano dopo l'incendio

E noto che nell'applicazione dei criteri di Classificazione a Vista vigenti già le misure delle sezioni in varie parti del materiale impongono delle riduzioni se vengono riscontrate variazioni geometriche; questa situazione va posta su travi in legno sbazzate antiche che hanno già di per se questo parametro.

Occorre poi tenere in conto del **"periodo di vita"** degli elementi, che possono presentare nelle orditure storiche problemi di verifica delle deformabilità per le sezioni, generando il fastidioso effetto della vibrazione che genera inquietudine negli utenti ma che invece è proprio la risposta della elasticità naturale del materiale legno. Le preoccupazioni devono semmai aumentare quando questo non avviene in presenza di aspetti deformativi.

La domanda che normalmente viene posta da chi deve eseguire le verifiche su questo tipo di strutture lignee incendiate ricorrente (che non sempre è chi effettua la diagnosi) è principalmente una: **"quale sezione residua reagente si deve assumere al termine del percorso diagnostico?"** nel caso di incendio aggravata dalle diverse sezioni residue presenti con cui occorre confrontarsi.

Quindi in taluni casi si preferisce procedere alla soluzione della sostituzione anche parziale degli elementi o almeno al loro affiancamento, evitando ogni verifica analitica sulle resistenze residue.

Ma optare per la sostituzione di tutti gli elementi, acclarando questa scelta come criterio di maggiore sicurezza, pone in essere il problema del cantiere successivo, soprattutto se riferito alle movimentazioni degli elementi in spazi ristretti come in questo caso, alle difficoltà di trasporto e messa in opera di travi di dimensione non contenuta che coinvolgono anche gli appartamenti confinanti.

In questo caso la scelta del Monitoraggio delle misure ha permesso tuttavia di verificare le sezioni interessate consentendo di procedere ad un consolidamento degli elementi danneggiati mantenendoli in opera con posa di nuovi travetti adiacenti.

Nel successivo caso siamo a Cesena nel centro Storico ove un solaio è stato oggetto di incendio sempre dovuto a corto circuito nell'impianto elettrico generatosi in assenza degli utenti dell'immobile .

Qui le condizioni logistiche sono differenti e l'intervento di spegnimento avviene in tempi estremamente rapidi interrompendo la "velocità di combustione".

L'impalcato, sottoposto a **verifica della freccia de formativa**, ha presentato valori compresi nelle tolleranze di norma delle verifiche ancor prima di porle in essere, dati rilevanti a conferma che il tempo di incendio è stato breve e le sezioni, salvo un primo strato superficiale di carbonizzazione quando l'incendio è stato spento.



Si è proceduto con dei micro sondaggi locali previa rimozione del limitato strato carbonizzato e successivamente si è applicata la fase strumentale in quanto gli elementi non presentavano degrado xilofago ne micotico e potevano considerarsi nuovi quindi ancora in fase di stagionatura e **soggetti a deformabilità e ritiri fisici che si accentua durante la fase di essiccazione.**

Sono state condotte indagini sclerometriche e resistografiche, oltre alla misura di umidità per resistività elettrica, avvenuta non nelle immediatezze dell'evento calamitoso ed il campionamento che ha definito il pino come specie utilizzata.

Dai dendrogrammi resistografici si è presentata una situazione di limitata stagionatura ma lineare sia per le travi incendiate che non.

Le verifiche successive condotte con le NTC generali del D.M. 14/09/2005 e le NI.CO.LE CNR/DT 206/2006 hanno permesso di mantenere in opera la struttura senza alcun intervento strutturale.

Il caso successivo rappresenta un vasto incendio che ha colpito una copertura lignea di una Villa Storica settecentesca nel basso Piemonte nel Comune di Capriata d'Orba (AL).

L'incendio si genera nel periodo invernale a causa dell'ascensione delle stufe la cui canna fumaria ha un improvvisa rottura a livello del camino e da seguito al rogo.

I soccorsi intervenuti tempestivamente trovano tuttavia una sgradita sorpresa: la grande vasca di acqua, predisposta come misura provvisoria d'intervento, **non contiene sufficiente** quantità a spegnere l'incendio che rapidamente avanza. La disponibilità di altre vasche di edifici confinanti evita il peggio e consentente lo spegnimento prima della completa perdita della copertura.

Il quadro del danno è tuttavia molto grave, alcune strutture portanti costituite da capriate sono andate perdute o irrimediabilmente danneggiate.

Esiste un problema **di costi di ripristino** ma qui la lungimiranza dell'Assicurazione, prontamente intervenuta con un Suo Funzionario, evita la fase di attesa di definizione del sinistro e consente di procedere alla messa in **opera delle opere provvisorie** e, subito dopo, da il consenso all'intervento.

Occorre citare, anche quando si parla di valutazioni delle strutture incendiate, l'**aspetto patrimoniale** del valore delle stesse conseguentemente quello dei costi e dei tempi necessari al ripristino. E' infatti in questo ambito di tempo che anche le condizioni strutturali possono evolvere negativamente non potendo procedere alle valutazioni fino a che non vengono definiti i ruoli ed i soggetti. Questo però incide sfavorevolmente sulla struttura stessa; l'attesa infatti può portare anche a crolli non immediati post incendio ma dovuti proprio alla mancanza di opere provvisorie imputabili a **indecisione negli Aspetti Patrimoniali**

In particolare, anche se lo stato in essere suggerirebbe la sostituzione intera di elementi lignei, dai sopralluoghi si evince che le capriate danneggiate non svolgono solo un ruolo di struttura portante ma bensì forniscono un contributo al sistema resistente portante del piano sottostante; sostituire gli elementi aumenterebbe i costi e creerebbe condizioni di danno maggiore.



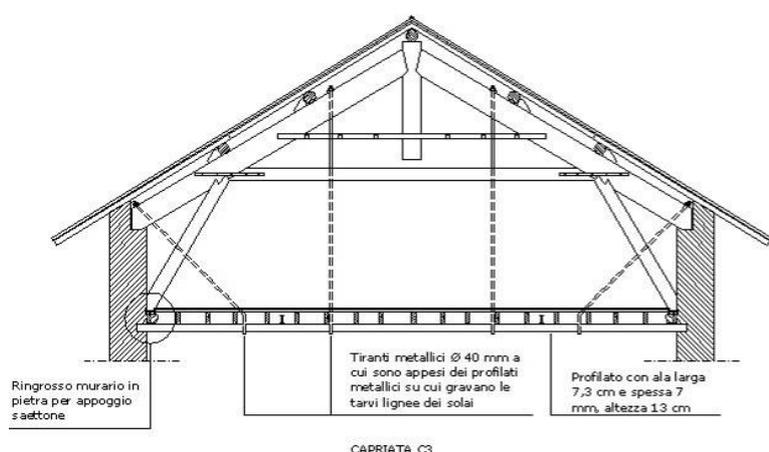
Si procede come nei casi precedenti ma in questa circostanza viene utilizzato anche l'impiego di un Sistema di asciugatura specializzato, opportunamente termo-igrometricamente monitorato, che consente di accelerare notevolmente i tempi. In questo caso l'acqua di spegnimento ha fatto più danni del fuoco soprattutto agli apparati decorativi e finiture in vaste zone della Villa non soggette a incendio.

Da un'indagine sulla "storia della Villa" ed in particolare della copertura, si è desunto che in anni recenti era stata oggetto di lavorazione con la posa di nuovi elementi della copertura lignea

secondari. Su alcuni elementi erano presenti anche vernici intumescenti applicate per la destinazione della Villa ad Albergo che imponeva l'adempimento a relative Norme Antincendi.

La diagnosi condotta con tecniche non distruttive analoghe a quelle dei casi precedenti, ha consentito, soprattutto sugli elementi maggiormente danneggiati di procedere al consolidamento con protesi e integrazioni tenendo conto del ruolo portante delle capriate per il piano sottostante. Tuttavia diverse parti della copertura sono state completamente sostituite con nuovi elementi

Si è posto in essere anche un intervento di miglioramento sismico che è stato eseguito posizionando in opera con disegno a "croce di Sant'Andrea" lungo le due falde del tetto a capanna, un nastro metallico con collegato al tavolato ed alle travi con viti con funzione. Sono state realizzate due nuove capriate Palladiane con elementi in castagno e connessioni con piastre metalliche.



Veniamo all'ultimo caso, trattasi di una copertura di Villa Storica genovese in località Sant'Olcese (GE) realizzata con la tecnica a "cavalletto ed integrata nel tempo impropriamente con la collaborazione di murature semiportanti sviluppate in quota fino alle terzere.

L'incendio, generatosi dalla canna fumaria, sembra sia avvenuto per utilizzo di un combustibile non corretto e idoneo nel periodo autunnale all'accensione periodica delle stufe. I tempi di propagazione sembrano essere stati molto lunghi in quanto i residenti dell'immobile erano presenti e non hanno avvertito che dopo molte ore ciò che stava accadendo.

Anche qui il danno è stato circoscritto in tempi rapidi ma gli accadimenti successivi hanno costretto ad una lunga attesa per il ripristino. È stato necessario porre in **opera puntelli provvisionali** così come un sistema di copertura in tubi d'alluminio per evitare che successive infiltrazioni peggiorassero la situazione. Le **problematiche Assicuratrici**, sommate ad un precedente dissesto, hanno richiesto molto tempo per la definizione e la disponibilità degli importi relativi

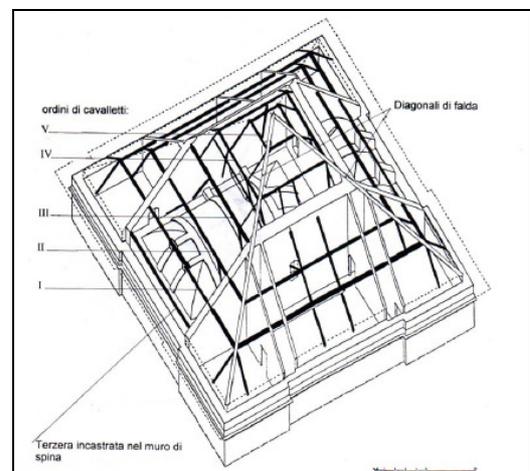
**L'edificio è oggetto di Vincolo** ai sensi del vigente Codice dei beni Culturali, per di più posto in area particolarmente franosa nell'ambito della Regione Liguria che hanno causato, in occasione delle alluvioni, segni di cedimento ed è collocato in Zona Sismica.



La Diagnosi del legno, condotta sempre con la stessa metodologia come sopra descritta, ha tuttavia evidenziato come la struttura della copertura fosse oramai il compromesso di quella originale a “cavalletto”, con l’ ausilio di murature collaboranti a funzione portante.

Un altro fattore è tuttavia stato determinante per il recupero della copertura ,la scelta come nei casi precedenti di non rifare completamente manufatti. Il consolidamento e la riparazione hanno invece evitato di intraprendere percorsi più complessi; tuttavia richiedendo tutte le Autorizzazioni degli Enti preposti talvolta con indicazioni tra loro in contrasto fornite dagli Enti stessi ovviamente legate al compito Istituzionale svolto.

La Diagnosi, estesa anche alla struttura portante, ha reso tuttavia non riproponibile il sistema stesso nelle parti di ripristino individuando proprio nel ruolo delle pareti collaboranti, estremamente ridotte in sezione, no sufficienti alle sollecitazioni cui erano sottoposte con situazioni di instabilità e schiacciamento del punto di vulnerabilità. Il rilievo ha palesato come tali pareti non avessero continuità sottostante e gravassero quindi sugli impalcati dei solai lignei con principi di deformazione delle travi. Pertanto nella riproposizione del sistema resistente si è scelta la soluzione strutturale di evitare la precedente gerarchia dei carichi optando per capriate e non per puntoni e terzere almeno nella struttura portante. Ciò ha anche permesso di non perdere la tecnica costruttiva e di dare corretta distribuzione delle sollecitazioni ai muri portanti.



In particolare gli elementi nuovi delle capriate in castagno sono stati assemblati in opera in pezzi calati da apposita gru, al fine di evitare la perdita delle parti restanti, così come la ponteggiatura di sicurezza interna era stata dimensionata e realizzata per far fronte a questa evenienza.

Se per la copertura si è posta la giusta soluzione, per i solai sottostanti, pur rendendosi necessario un consolidamento, si è dovuto attendere che le percentuali di umidità regredissero.

La Soprintendenza competente non ha ritenuto di Autorizzare l'intervento se non dopo successive verifiche ad oggi non ancora compiute

Di fatto questo episodio rappresenta anche l'esempio del degrado non visibile: quello dell'acqua post incendio che penetrando nei solai raggiunge le sottostanti volte dipinte in canniccio generando problemi da umidità. Queste forme di infiltrazione, se non oggetto di prevenzione, innescano un processo di marcescenza sia nel canniccio che nei tiranti lignei con cui le volte finte sono appese ai solai giungendo prima o poi a possibili crolli parziali delle stesse. Siamo di fronte quindi al problema analogo quello degli "sfondellamenti" dei solai in latero-cemento e proprio l'acqua di spegnimento è nel caso uno degli elementi causa

## Conclusioni

La breve rassegna dei casi pone in essere come nella Valutazione delle Strutture oggetto d'incendio vi siano fattori principali quali la diagnosi e le verifiche come elementi determinanti.

Richiede che gli accertamenti debbano essere eseguiti con metodologie non invasive in tempi opportuni dopo i sinistri, pena la formazione di un quadro non corretto sulla situazione post danno.

Ma tra i fattori da non trascurare si evidenziano anche:

- La disponibilità di risorse e soprattutto di tempi adeguati
- La definizione della storia della costruzione se possibile dei carichi nel tempo, quindi la conoscenza delle vicende costruttive
- La definizione dei tempi di ripristino e soprattutto le opere provvisorie
- Non ultima la scelta delle procedure Edilizie Urbanistiche da attuare

Tra le maggiori difficoltà incontrate vi è sicuramente

- La definizione dei tempi di incendio ci può aiutare a dare risposta per lo stato del materiale post incendio
- I materiali che hanno generato la combustione
- In fase diagnostica sicuramente la definizione della sezione residua Resistente e della Categoria strutturale rappresentano i momenti più complessi

Occorre quindi una particolare attenzione se si vuole perseguire (come è intenzione sempre dello scrivente) **l'obiettivo, pur in una circostanza così drammatica, di salvaguardare ciò che resta dal rogo riconferendogli un ruolo strutturale.**

## ***Bibliografia***

Monumental, “Chantier / Actualités, Edition du Patrimoine, pp. 108-109, Semestrale 2 – Dicembre 2017

G. Stagno, R. Morra, C. Roberto, G. Toso, M. Ferrari “Strutture danneggiate da incendio. Il caso di un fabbricato industriale consolidamento o ricostruzione”, Teramo, CONCRETE, 25.ottobre 2012

M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena, Strutture in legno, Biblioteca tecnica Hoepli, 2005, Milano

E. L. Schaffer, C. M. Marx, D.A. Bender, F. E. Woeste, Res. Pap. FLP 467, USDA Forest Service, Forest Product Lab., Madison (1986)

C.N.R. Istituto per la Tecnologia del legno – S. Michele all’Adige (TN)