



GETTY IMAGES

PIOMBO

Il piombo bruciato nell'incendio (la cattedrale ne conteneva 460 tonnellate) ha rilasciato fumi tossici (a sinistra, il **tetto**)



© M. HENNER

PIETRA

I crolli hanno prodotto frammenti che saranno studiati per capire da quali **cave** arrivavano e come restaurare al meglio la cattedrale



© ART GRAPHIQUE & PATRIARCHE

3D

Dai frammenti recuperati dall'incendio si sta anche ricostruendo, attraverso l'**intelligenza artificiale**, un modello in 3D di Notre-Dame com'era prima dell'incendio



058509

SCIENZE
SOTTO LA CENERE

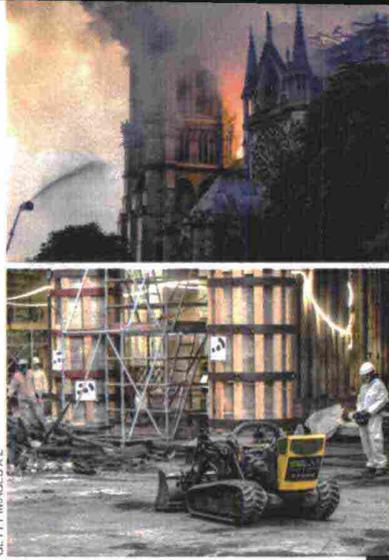
più a lungo possibile il peso dell'albero. Come colonne o travi sono già perfetti così come li si trova nel bosco: più li si lavora con gli strumenti, più si intaccano le loro proprietà».

Lo studio dei duemila pezzi di legno bruciato di questi alberi dell'XI e XII secolo rivelerà anche dettagli preziosi per lo studio del riscaldamento globale, perché farà luce sul "Periodo caldo medioevale", arco di cinquecento anni di temperature inusualmente calde nel Nord Atlantico, difficile da studiare finora perché pochi erano i legni superstiti. «Misureremo, per i vari anelli corrispondenti agli anni di vita delle querce, la presenza dell'isotopo dell'ossigeno O18, che le piante assorbono di più quando fa caldo, e dell'isotopo del carbonio C13, la cui quantità è inversamente proporzionale alle precipitazioni» spiega Dufraisse. «Così individueremo gli anni di maggiore siccità e potremo confrontare la frequenza di eventi climatici estremi nell'XI secolo con quella di oggi».

L'IMPATTO DEL PIOMBO

L'incendio del 2019 è stato un disastro non solo per l'arte e la cultura, ma anche per l'ambiente: «I costruttori medioevali avevano ricoperto tutto il tetto con lastre di piombo di un metro per due, materiale che non si corrode con l'acqua ed è molto duttile» spiega Maxime L'Héritier, archeologo del Cnrs. «Lo si può fondere - bastano 327 gradi, contro i 1.538 necessari per il ferro - direttamente là dove serve, e una volta fuso occupa tutti gli anfratti che trova: per questo a Notre-Dame, oltre a rivestire il tetto, il piombo è stato usato per saldare alla pietra le armature in ferro che la rinforzano, e tenere insieme i pezzi di vetro delle vetrate».

Perciò la cattedrale conteneva oltre 460 tonnellate di piombo: quello che è bruciato ha rilasciato nell'aria grandi nuvole di polveri tossiche: dopo l'incendio, nei dintorni di Notre-Dame, ne è stato misurato un livello 1.300 volte superiore alla soglia di sicurezza. «Confronteremo la "firma isotopica" del piombo nei detriti con quella del piombo e ossido di piombo che troveremo sul



GETTY IMAGES X 2

Sopra, dall'alto, l'incendio del 15 aprile 2019 e il cantiere all'interno della cattedrale. Per i restauri sono stati donati da tutto il mondo 845 milioni di euro

suolo e nell'acqua, così da capire fino a dove può essere arrivato questo inquinante» spiega L'Héritier. «Così si avranno gli elementi per valutare se erigere o meno, con il restauro, un tetto di piombo uguale a quello crollato».

Anche lo studio della pietra, calcare luteziano, che è crollata sarà cruciale per il restauro. «La sua composizione chimica ci dirà da quali cave è stata estratta, così da indirizzare la ricerca per rimpiazzarla» spiega Yves Gallet, docente di Storia dell'arte all'Università Bordeaux Montaigne. «Intanto abbiamo risolto un altro mistero, ovvero come gli antichi costruttori di Notre-Dame siano riusciti ad erigere la volta più alta del tempo: 32 metri, contro i 24 di altre cattedrali gotiche, come quelle di Sens e di Laon. Il crollo del 2019 ci ha svelato che la parete della volta è molto sottile: va dai 15 ai 30 centimetri. Il segreto è quindi nell'estrema leggerezza di quell'architettura».

RIMPIAZZARE O RICONSolidARE?

C'è poi la questione della pietra nella parte alta del coro, che secondo gli esperti è stata danneggiata dal calore dell'incendio e dall'acqua usata per domarlo. «Ora la scelta è tra rimpiazzarla, oppure cercare di riconsolidarla. Magari con nanoparticelle di silicio, o con una biomineralizzazione affidata

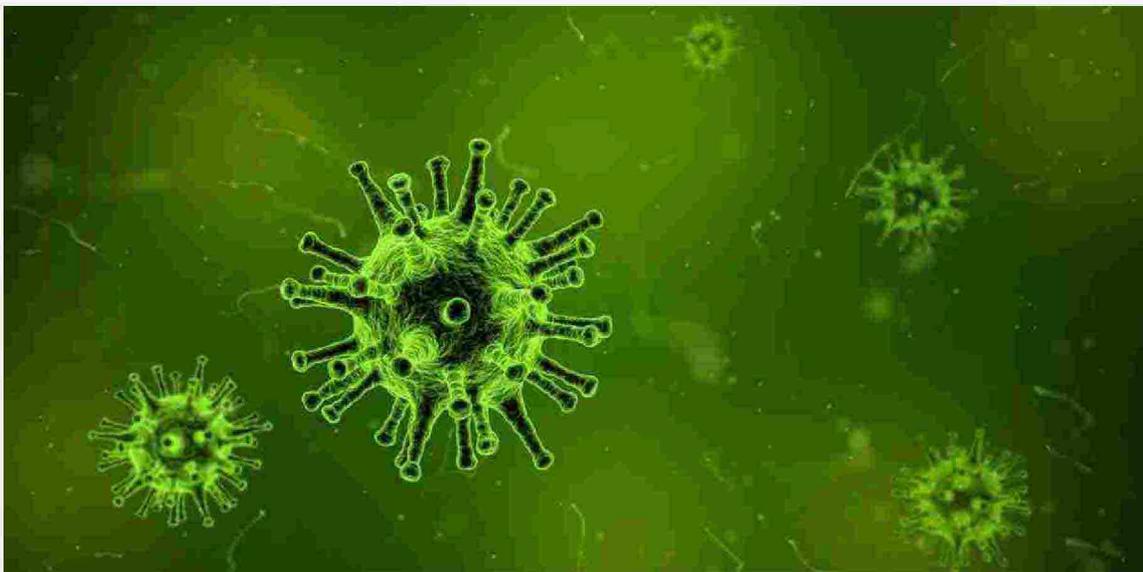
a batteri che producono calcite».

Gran parte del restauro sarà affidata all'intelligenza artificiale. «Un algoritmo riconoscerà la forma di ogni detrito e proverà a indicarne la posizione originaria. Sarà come risolvere un grande puzzle» spiega Livio De Luca, direttore della ricerca del Cnrs sulla digitalizzazione del patrimonio artistico. «Stiamo aggiornando, con i dati raccolti dai ricercatori, un "gemello digitale" di Notre-Dame, visitabile in ogni punto e fedele a ciò che la chiesa era prima dell'incendio: tutte le operazioni di restauro si basano su un confronto con ciò che c'era prima». Partecipa al progetto anche l'Istituto di scienza e tecnologia dell'informazione del Cnr di Pisa. «Per gli aspetti visivi integreremo via software immagini dagli archivi della sovrintendenza, riprese di droni e anche fotografie dei turisti, che abbiamo coinvolto in una grande iniziativa di crowdsourcing». La Dame, insomma, non è mai stata così Notre.

MISTERO IRRISOLTO

Resta un ultimo mistero: la causa dell'incendio. Per la Procura di Parigi non ci sono indizi di un atto volontario. Forse un cortocircuito elettrico ha bruciato per primi dei piccoli pezzi di legno e detriti nel sottotetto. Oppure c'è stata l'imprudenza di un saldatore: le torce che si stavano usando per riparare il piombo del tetto superano i mille gradi. «Le travi della "Foresta" però sono spesse trenta centimetri: servono almeno quindici minuti di temperatura a trecento gradi per far sì che quel legno inizi a bruciare da solo in modo inarrestabile» spiega Thibaut. «L'incendio è stato ignorato per circa mezz'ora: forse perché il legno ha iniziato a bruciare "da dentro". Ma per questa combustione interna, invisibile fino a quando non è troppo tardi, bisognerebbe che un pezzo di metallo rovente fosse penetrato nel cuore di una trave e l'avesse portata ad altissima temperatura. Ed è assai improbabile che un evento come questo avvenga accidentalmente».

Giuliano Aluffi

ELECTO
RADIO

L'ALMANACCO DEL **CNR** DEDICATO AL CORONAVIRUS

Il Covid-19 è ormai al centro dell'informazione quotidiana su tv, radio, carta stampata e media online. Ma è anche al centro della nostra vita, che ha rivoluzionato, costringendoci a evitare i contatti fisici, a eliminare molte forme di socialità, anche quelle legate allo studio, con la chiusura di scuole e università, e al lavoro, in parte sostituito dallo smart working. Ha inoltre invaso la nostra interiorità, scatenando paure e ansie ma anche diversi, talvolta opposti stati d'animo e d'umore. L'Almanacco della Scienza non poteva dunque che mettere il Coronavirus al centro del Focus monografico del numero on line da oggi, esaminando con l'aiuto dei ricercatori del **Cnr** i tanti aspetti medici, epidemiologici, culturali, socio-economici, tecnici e mediatici dell'epidemia.

Giovanni Maga, virologo e direttore dell'Istituto di genetica molecolare, racconta come è cambiata la sua vita con il diffondersi dell'epidemia ma anche dell'infodemia che lo sottopone a continue richieste dei media sull'argomento; Rita Berisio, a capo del team napoletano dell'Istituto di biostruttura e bioimmagini che studia il Covid-19, spiega il lavoro di ricerca che lei e il suo gruppo stanno conducendo. A ricordare come siano utili