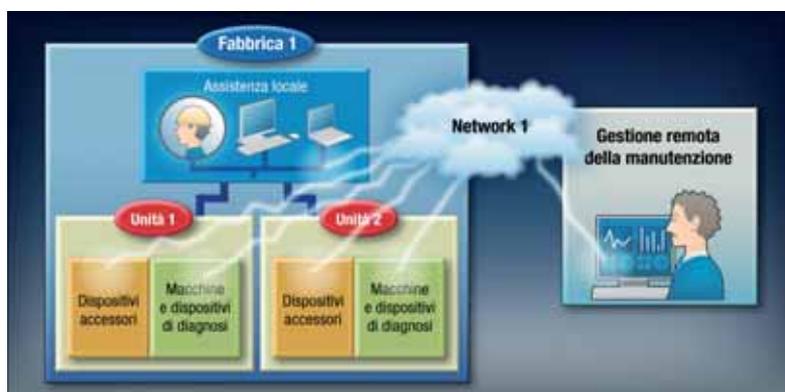


# Visti da lontano

Oggi la realtà arricchita è una branca dell'informatica che utilizza tecniche di visione artificiale, elaborazione delle immagini e grafica digitale per intercalare informazioni generate via computer nel mondo reale percepito dall'osservatore designato

**M**an mano che i sistemi di produzione si fanno più flessibili e sofisticati cresce la complessità dell'opera di manutenzione necessaria a conservarne l'efficienza e limitare il fermo impianti. A sua volta, la manutenzione di sistemi avanzati richiede personale qualificato e lunghi corsi di formazione e aggiornamento. Per poter rimanere competitivi, i produttori di impianti, macchine e più in generale di prodotti a cui associare un servizio di manutenzione, hanno dovuto adattare il concetto di manutenzione a un contesto di gestione remota più consono al moderno trend verso

remota la manutenzione permette di contenere i costi, ottimizzare i tempi di riposta e aggirare i problemi di scarsità di personale specializzato: riducendo al minimo le trasferte ai siti affetti da problemi si liberano risorse per una gestione ottimizzata della manutenzione. Il tempo degli esperti può così essere utilizzato per risolvere i problemi invece che per spostarsi da un sito all'altro anche quando non sarebbe necessario. Non solo, ma con un'opportuna infrastruttura è possibile fare in modo che ogni problema venga analizzato dal personale più qualificato per risolverlo. Inoltre, anche quando è inevitabile, l'intervento sul posto può essere effettuato in prima istanza dalla manodopera locale guidata a distanza dal personale esperto.



**La manutenzione a distanza permette di ridurre i tempi di intervento e i costi di trasferta, ottimizzando la gestione del personale specializzato**

e-manufacturing. Sempre più spesso il monitoraggio, il controllo, la diagnosi e la manutenzione dei sistemi di produzione hanno luogo in centri di controllo separati dal piano di fabbrica. In alcuni contesti industriali (come la produzione di circuiti integrati) l'automazione è talmente spinta da non richiedere praticamente alcuna presenza umana, al punto che si parla di fabbriche 'a luci spente' ('lights out'). Rendere

## L'occhio vuole la sua parte

In questo e in altri casi di manutenzione remota, disporre di un mezzo per poter valutare visivamente le condizioni dell'impianto o del macchinario, ma anche solo per scambiare informazioni visuali con il personale locale, rende più spedita la ricerca della soluzione. Nel caso più semplice, delle videocamere connesse in rete permettono di ispezionare a distanza i punti strategici dell'impianto alla ricerca di condizioni anomale di funzionamento. Una connessione video tra la sede del personale esperto e il sito che necessita di assistenza può rendere enormemente più semplice l'interazione con il personale locale per la ricerca e la risoluzione dei guasti. Questo tipo di interazione può essere resa particolarmente efficiente se la videocamera è trasportabile nei punti critici dell'impianto e consente di scambiare informazioni grafiche tra il personale sul posto e l'esperto a distanza, ad esempio evidenziando su uno schermo tattile determinati punti di un'immagine appena catturata. Sebbene oggi questo tipo di funzionalità rientri nella dotazione

tipica di un comune smartphone o tablet, per l'impiego in ambienti industriali sono disponibili prodotti appositamente sviluppati. Crescendo in sofisticazione, è possibile utilizzare tecniche di visione artificiale per identificare in tempo reale le varie parti della scena ripresa e integrare direttamente nell'im-

annotazioni. Il tecnico esperto accede ai dati raccolti per mezzo di una postazione di lavoro tradizionale che può utilizzare per ottenere e inviare la documentazione pertinente, registrare lo svolgersi dell'attività o proporre al tecnico locale le soluzioni precedentemente registrate.



**La manutenzione assistita da remoto è più agevole quando si possono scambiare immagini con indicazioni e annotazioni (fonte: OnSight)**

magine riproposta all'operatore tutta una serie di informazioni aggiuntive che vanno dalla consultazione dei manuali, al suggerimento su come agire, fino alle istruzioni dettagliate di disassemblaggio e riassetto. Nella sua forma più estrema, la manutenzione a distanza avviene per mezzo di un robot locale che utilizza tecniche di visione artificiale per stabilire un sistema di riferimento, agevolare il compito dell'operatore remoto o addirittura prendere decisioni autonome volte a diagnosticare o risolvere un problema che si è presentato. Soluzioni di questo tipo trovano tipicamente applicazione in tutte quelle situazioni in cui la presenza di un operatore umano sarebbe sconsigliabile, economicamente svantaggiosa o del tutto inammissibile, come in certe aree delle centrali nucleari o sulle piattaforme petrolifere 'lights-out'.

### Interattività 'manuale'

La più semplice forma di interazione con le immagini nella manutenzione remota è rappresentata dalla consultazione contestuale di manuali e documentazione tecnica della macchina da parte del tecnico locale. Questa operazione può essere agevolata dal ricorso a computer 'indossabili' (wearable computer), tipicamente a comando vocale, che veicolano le informazioni per mezzo di un visore in miniatura. Dovendo utilizzare le mani per agire sulla macchina, i comandi sono impartiti vocalmente oppure per mezzo di gesti codificati del capo. L'assistenza a distanza può prendere la forma di una collaborazione tra l'esperto nella sede centrale e il tecnico locale tramite voce, immagini e video.

A tal fine sono disponibili sul mercato delle videocamere che integrano comunicazione audio a due vie, uno schermo tattile sul quale poter evidenziare dettagli e una forma di illuminazione adatta a illuminare correttamente i meandri più nascosti delle apparecchiature industriali. Diventa così possibile dialogare con l'esperto direttamente sul posto, facendo riferimento alle immagini appena riprese, sulle quali è possibile apporre

### Visione artificiale e realtà arricchita

Il ricorso a tecniche di visione artificiale permette di automatizzare e rendere più efficiente la fruizione dei dati tanto da parte del tecnico locale (che può accedere alle informazioni che gli servono solo quando e dove gli servono) quanto da parte dell'operatore remoto (che viene messo in condizioni di riconoscere gli elementi che compongono la scena per orientarsi e agire con la dovuta previsione). La presentazione delle informazioni pertinenti alla manutenzione avviene dando

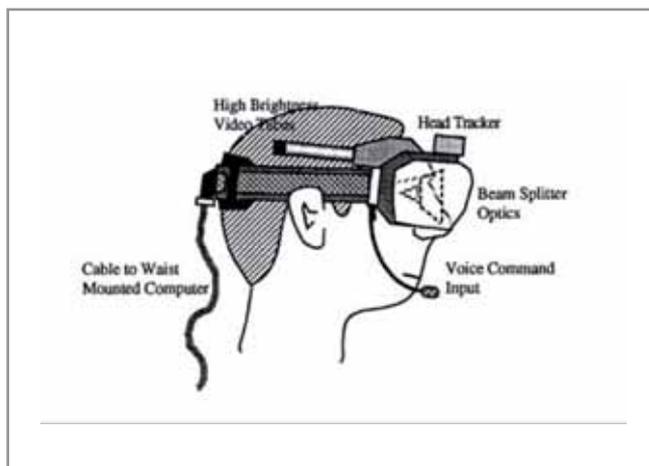


**Il wearable computing offre il mezzo per fruire delle informazioni di manutenzione senza occupare le mani dell'operatore (fonte: Motorola)**

all'operatore l'impressione che siano sovrapposte alla scena che ha davanti agli occhi o sullo schermo del computer. Il termine 'augmented reality (AR)', che si può tradurre in 'realtà arricchita', ma che è spesso sostituito dal calco semantico 'realtà aumentata', è stato coniato nel 1992 da un ricercatore della Boeing, Tom Caudell, mentre lavorava a uno schermo

indossabile in grado di mostrare agli addetti all'assemblaggio come connettere i voluminosi fasci di cavi elettrici degli aeromobili. Oggi la realtà arricchita è una branca dell'informatica che utilizza tecniche di visione artificiale, elaborazione delle immagini e grafica digitale per intercalare informazioni

è la fase più delicata di tutto il processo, in particolar modo quando il sistema di AR deve poter fornire informazioni quantitative sulla base della scena ripresa, come nel caso della manutenzione assistita. Un piccolo disallineamento della videocamera che riprende la scena, o un'eccessiva imprecisi-



**Il disegno del primo sistema con visore per realtà arricchita (augmented reality) realizzato da Tom Caudell nel 1992 (fonte: Boeing)**

generate via computer nel mondo reale percepito dall'osservatore designato. Grazie alla realtà arricchita, l'operatore è in grado di interagire con oggetti reali e virtuali in tempo reale. Nel contesto della manutenzione, non solo remota, diventa possibile visualizzare degli indicatori che guidino il tecnico nelle operazioni da effettuare per diagnosticare e risolvere un guasto. Il riconoscimento della scena in tempo reale consente di mostrare solo le informazioni pertinenti al contesto del momento, di fatto guidando passo passo l'operatore. È anche possibile rielaborare la scena in modo da sottrarre particolari, consentendo la visione delle parti interne di un macchinario. Nella sua forma più essenziale un sistema di AR è costituito da tre moduli: un modulo di cattura dell'immagine tramite videocamera; un modulo di inseguimento (tracking) che determina la posizione e l'orientamento del sistema di riferimento; un modulo di rendering che combina l'immagine reale con l'immagine virtuale generata dal computer.

## Inseguire e allineare

Il modulo di inseguimento è la parte più complessa di tutto il sistema e si occupa di identificare i dettagli salienti della scena ripresa per dedurre la posizione e l'orientamento del sistema di riferimento che giustifichi la proiezione bidimensionale della scena rilevata dal modulo di cattura. Il modo più semplice per fare questo è attraverso dei marcatori (marker) che utilizzano diversi fenomeni fisici per identificare dei punti di riferimento nella scena; quando l'utilizzo dei marcatori non è possibile o desiderabile, le informazioni sono estratte dall'immagine raccolta per mezzo di opportuni algoritmi di segmentazione e di geometria proiettiva. L'allineamento dei due contesti, che prende il nome di registrazione (registration),



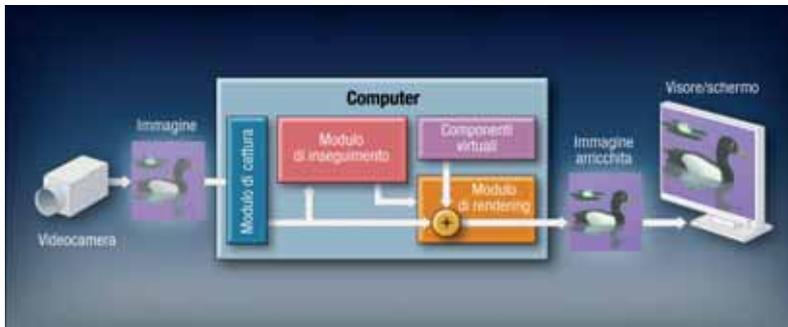
**I diversi modi per sovrapporre le immagini generate dal computer alla scena reale: a) proiezione diretta; b) HUD (Head Up Display); c) visore integrato negli occhiali; d) visore integrato con retroazione per allineamento fine**

sione degli algoritmi di calcolo possono rendere del tutto inutilizzabili le istruzioni di messa a punto, scambiando contatti o male interpretando lo stato dei vari componenti. Un allineamento ideale richiede accuratezze dell'ordine del millimetro e inferiore al grado nella posizione e inclinazione della testa dell'operatore. Dato che quest'ultima è solidale agli occhiali con videocamera e visore, è lecito aspettarsi che per assicurare il corretto funzionamento di un sistema di AR sia bene dedicare grande attenzione alla corretta calibrazione della videocamera che effettua la cattura.

Il modulo di rendering si occupa di generare l'immagine virtuale che deve essere sovrapposta all'immagine reale; per fare questo utilizza un punto di vista virtuale identico a quello rilevato dal modulo di inseguimento per la videocamera reale che ha ripreso la scena. Esistono diversi metodi per combinare i due mondi, il più semplice dei quali consiste semplicemente nel proiettare l'immagine generata dal computer sull'oggetto reale per mezzo di un proiettore. Questa tecnica presenta il vantaggio di non richiedere l'utilizzo di apparecchiature di visione da parte dell'operatore ma ha il difetto di non prestarsi all'integrazione di oggetti virtuali o informazioni dettagliate. Più interessanti sono le tecniche basate sull'impiego di un divisore di fascio che può essere integrato tanto in sistemi fissi come gli HUD (Head Up Display), quanto in sistemi portatili sotto forma di visori integrati in un casco

o in un paio di occhiali. Entrambi questi sistemi vanno a formare un'immagine alla stessa distanza focale dell'immagine reale permettendo all'operatore di visualizzarle sovrapposte senza perderne i dettagli. Nel caso del visore portatile, sostanzialmente solidale con gli occhi dell'osservatore, è possibile aggiungere un meccanismo di retroazione che permetta di

server remoto. Il sistema automatizzato dispone di una serie di animazioni precedentemente realizzate su un modello tridimensionale della macchina da analizzare, e il sistema di calcolo locale provvede a tradurle nelle corrette proiezioni allineate con la scena percepita dall'osservatore. Le istruzioni che vengono visualizzate sono condizionate dalle attuali condizioni della macchina. In un'ottica di manutenzione assistita, il sistema automatizzato può essere sostituito da personale esperto presente presso la sede del produttore o del fornitore del servizio di assistenza.



**Gli stadi essenziali di un sistema di realtà arricchita: cattura, inseguimento, rendering**

In questo caso, oltre a comunicare verbalmente con il tecnico locale, l'esperto può arricchirne la visione aggiungendo simboli che denotino il tipo di elementi e gli eventuali rischi, oppure sovrapponendo istruzioni o sequenze di operazioni preconfezionate sulla base dei modelli virtuali della macchina. La piattaforma ManuVar, realizzata in seno al settimo programma quadro dell'Unione Europea con lo scopo di valorizzare



**Nella manutenzione assistita tramite sistemi di realtà arricchita l'operatore locale o remoto ha accesso a tutta una serie di informazioni che dipendono dal contesto e vengono sovrapposte alla scena in tempo reale**

verificare il corretto allineamento dell'immagine reale con quella generata dal computer. Si può in questo modo ottenere un sistema sufficientemente accurato per essere utilizzato anche nei compiti di manutenzione più delicati dal punto di vista della registratura.

Una messa a registro perfetta è comunque impossibile per via di tutta una serie di errori che possono influire sul corretto allineamento dei due mondi, in primo luogo gli errori nell'inseguimento dovuti alle imperfezioni nell'hardware e nel software (i cui calcoli possono solo avere un'accuratezza limitata). Altri errori di cui bisogna tenere conto sono le distorsioni e il disallineamento meccanico del visore, l'errato posizionamento dei marcatori e le imperfezioni del modello tridimensionale della scena.

**AR per la manutenzione remota**

La realtà arricchita si presta all'implementazione di diversi schemi di manutenzione remota. In un primo approccio, il tecnico locale utilizza gli occhiali AR per visualizzare le procedure di diagnosi e manutenzione inviategli su richiesta da un

il lavoro manuale specialistico, realizza un sistema di questo tipo utilizzando le librerie Open Source Alvar per la realtà virtuale e arricchita.

La manutenzione a distanza può inoltre essere effettuata da un operatore remoto per mezzo di un robot locale; in questo caso le tecniche di visione artificiale vengono utilizzate per dedurre il sistema di riferimento del robot rispetto all'ambiente circostante, la cui configurazione potrebbe essere cambiata rispetto alla calibrazione iniziale (cosa normale negli ambienti non strutturati).

L'allineamento delle immagini percepite dalla videocamera locale con il modello virtuale elaborato permette all'operatore remoto di simulare i movimenti che intende effettuare per evitare ostacoli e assicurare la sicurezza delle operazioni. Robot di questo tipo possono essere utilizzati per effettuare semplici operazioni di manutenzione o diagnosi in ambienti ostili all'uomo o laddove la presenza di un operatore in carne e ossa non sia praticabile per altri motivi: centrali nucleari, piattaforme petrolifere e turbine eoliche sono un esempio di possibili ambiti applicativi di queste tecnologie.