



VISUALIZZAZIONE SCIENTIFICA: UN AIUTO PER CAPIRE

Noi utilizziamo quotidianamente, quasi senza accorgerci, immagini e modelli mentali per capire la realtà che ci circonda. Spesso nel lavoro ingegneristico e nella ricerca scientifica non riusciamo a fare altrettanto perché fenomeni e processi di interesse sono, usualmente, troppo astratti per essere compresi direttamente. L'articolo mostra come la visualizzazione scientifica possa venire in aiuto, fornendoci strumenti per rendere visibili questi fenomeni tramutandoli in immagini che riusciamo a cogliere senza intermediari.

1. MODELLI ED IMMAGINI MENTALI

Albert Einstein un giorno si chiese cosa sarebbe successo se avesse potuto cavalcare un raggio di luce. Una bella immagine che lo aiutò nell'intuizione che più tardi sarebbe diventata la teoria della relatività. Ma non è il solo scienziato che ha utilizzato immagini e manipolato modelli mentali per comprendere dei fenomeni osservati e formulare nuove teorie, l'aneddotica scientifica è piena di esempi.

Non è necessario però scomodare scienziati e geni: anche noi nella nostra vita quotidiana creiamo e manipoliamo nella mente, a volte inconsapevolmente, dei modelli che ci aiutano nel raggiungimento di un qualche obiettivo. Chi non ha simulato mentalmente le fasi di un lavoro di bricolage prima di eseguirlo materialmente? E chi non ha mai utilizzato una mappa mentale della propria città cercando di trovare strade alternative attorno ad un ingorgo che blocca il ritorno a casa?

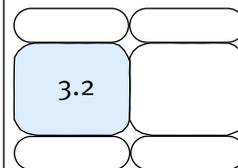
Nelle incombenze della vita quotidiana, come nel nostro lavoro professionale, la mente

è bombardata da un flusso ininterrotto di fatti e dati. Per estrarne un senso e trasformare questa messe di dati grezzi in informazioni e conoscenza, uno dei mezzi più potenti che abbiamo a disposizione è, appunto, quello di costruire immagini e modelli mentali. Le immagini ci rendono visibile ciò che visibile non è e i modelli che possiamo manipolare mentalmente ci aiutano a cogliere il funzionamento di un oggetto o a simulare un'azione. Alla fine, la comprensione acquisita partendo dai nuovi dati è posta in relazione con ciò che già sappiamo, cristallizzandosi così nella forma di nuova conoscenza.

Uno strumento tanto utile ed efficace per la cognizione soffre purtroppo di due limitazioni intrinseche. La prima è che immagini e modelli mentali non possono essere troppo dettagliati perché vengono assemblati in quella parte della memoria che funziona come area di lavoro a breve termine, che è di capacità limitata. Per di più, quest'area di lavoro è effimera: dopo circa due minuti il suo contenuto svanisce e con lei svaniscono immagini e modelli.

Sembra, in definitiva, che abbiamo a dispo-

Mario Valle
Roberto Marmo



sizione uno strumento potente che ci può aiutare nei compiti più creativi, ma che deve essere relegato ad utilizzi riguardanti semplici esigenze di sopravvivenza a causa dei suoi limiti.

2. ESTERNALIZZAZIONE DELLA CONOSCENZA

L'uomo si distingue dagli animali, fra l'altro, perché ha sempre creato delle estensioni al proprio corpo ed alla propria mente per superarne le limitazioni intrinseche. Crea macchine per ottenere forza ed agilità ed artefatti cognitivi per ancorare e rendere stabili i propri modelli mentali.

Avete mai provato a misurare la differenza fra il tempo necessario per eseguire una semplice moltiplicazione a mente e su carta? Un rapporto fra i tempi impiegati di un fattore dieci ci fa capire che, quando lavoriamo su carta, in realtà stiamo superando le limitazioni della nostra memoria di lavoro esternalizzando il processo di calcolo. Ci facciamo aiutare da elementi geometrici, come l'incolonnamento delle cifre, per semplificare le operazioni e riduciamo il carico mnemonico dovuto ai risultati intermedi trasferendoli sulla carta.

Anche una normale carta topografica è uno strumento di esternalizzazione della conoscenza. Ci fornisce una visione d'assieme di una certa zona, astrae e semplifica le informazioni che deve trasmettere e, soprattutto, rende possibile la percezione immediata di un grande insieme di dati senza dover passare attraverso difficili inferenze logiche. Basti pensare al lavoro mentale necessario ad assimilare la descrizione verbale di un percorso stradale rispetto alla comprensione immediata dello stesso quando lo vediamo disegnato su di una mappa. Ci rendiamo conto così che visione e cognizione sono strettamente legate, tanto che a volte diciamo "vedo" quando intendiamo dire "capisco".

Non solo le immagini esterne passano, per così dire, direttamente a far parte della nostra area di lavoro mentale, ma anche e soprattutto in questo processo utilizziamo un potentissimo strumento di analisi ed esplorazione che si è evoluto nel tempo allo sco-

po di migliorare le nostre possibilità di sopravvivenza: il sistema visivo. Con la vista riusciamo a cogliere schemi e regolarità presenti in un'immagine e a percepire immediatamente, anche in scene complesse, alcuni specifici attributi visivi come il colore o la forma.

Allora perché non utilizzare immagini ed elementi visivi per estrarre un senso dalla marea di dati che ci sommerge quotidianamente? Perché non saltare completamente il filtro costituito da tabelle e descrizioni verbali che riempiono la nostra vita professionale? Purtroppo l'ostacolo principale che ci troviamo di fronte è dato dal fatto che poche grandezze e fenomeni producono immagini che possono essere viste direttamente: la maggior parte di quelli sottoposti a studio scientifico è troppo grande, troppo piccola, troppo al di fuori delle nostre capacità percettive o troppo astratta per essere immediatamente compresa. La figura 1 ci fornisce un esempio di fenomeno troppo esteso per essere afferrato immediatamente nella sua interezza; la forma del vulcano è percepita parzialmente perché con la vista possiamo apprezzarne solo una minima parte alla volta. Se invece trasformiamo il dato numerico delle altitudini di vari punti della superficie del vulcano in un modello grafico, allora riusciremo a percepire il fenomeno in maniera più diretta ed immediata. Altri esempi fra i tanti: se ci occupiamo di finanza, ci può interessare studiare l'andamento del mercato (entità astratta) utilizzando dati numerici (tanti e molto dettagliati) che riguardano entità intangibili come la "fiducia dei consumatori". Le previsioni del tempo invece sembrano essere più concrete e direttamente visibili: in fin dei conti percepiamo la pioggia sulla testa senza bisogno di alcuno strumento. Anche in questo caso, però, il fenomeno è troppo esteso perché possa essere colto nella sua globalità e, se presentato sotto forma di risultati numerici di un modello computazionale, troppo voluminoso e lontano dalla nostra sensibilità per essere immediatamente utilizzabile. In questi ed altri casi simili ci serve perciò qualcosa che trasformi l'invisibile dei dati numerici in immagini visibili su cui possiamo ragionare.

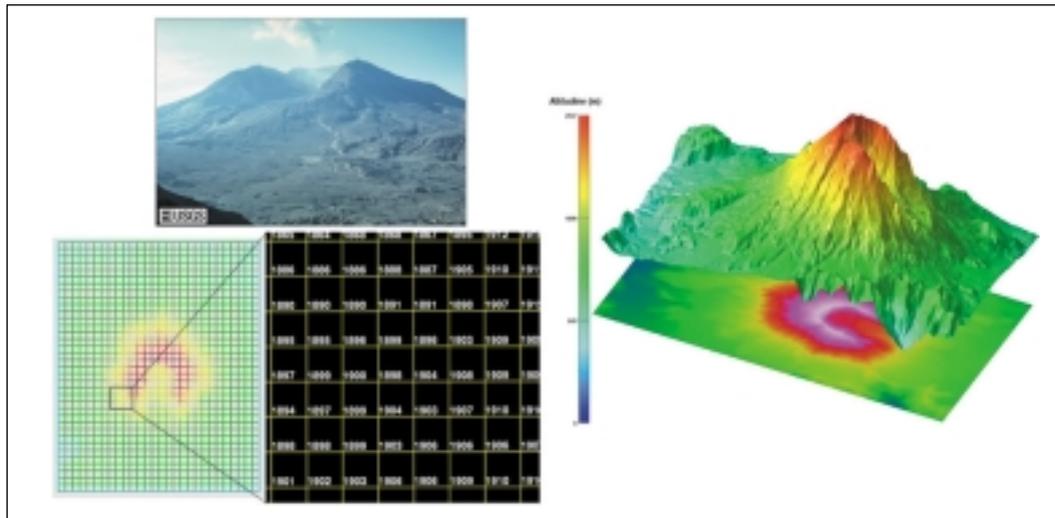


FIGURA 1

Un fenomeno fisico troppo grande per essere direttamente percepito (la forma del Mt. St. Helens dopo l'eruzione del 1980) viene trasformato in una tabella di numeri (altitudini) che sono resi visibili tramite due diverse tecniche di visualizzazione

3. LA VISUALIZZAZIONE SCIENTIFICA

I metodi per “vedere l’invisibile”, per rendere in forma visuale informazioni numeriche, non sono una scoperta recente: c’è addirittura un esempio di diagramma antecedente l’anno mille dove veniva riportata la variazione nel tempo della posizione dei pianeti e ci sono grafici di dati finanziari della fine del 1700 dall’Inghilterra dei commerci. Questi metodi hanno però avuto un forte impulso con l’avvento della tecnologia e della grafica computazionale, tanto da essere raccolti, codificati e definiti come visualizzazione scientifica.

L’importanza della visualizzazione scientifica come aiuto alla ricerca e all’innovazione è andata via via crescendo tanto che nel 1987 il famoso rapporto McCormick [4], considerato l’atto di nascita della visualizzazione scientifica come disciplina autonoma, argomentava che gli investimenti in supercalcolatori dovevano andare di pari passo con gli investimenti in strumenti di visualizzazione se si voleva rendere reale il potenziale insito nel calcolo ad alte prestazioni.

Definiamo quindi visualizzazione scientifica la disciplina che fornisce tecniche e metodi computazionali per creare rappresentazioni visive ed interattive dei dati al fine di amplificare le nostre capacità cognitive. Denomina-

tore comune a tutte queste tecniche è l’uso delle relazioni spaziali e l’impiego di metafore visive per mettere a frutto l’abilità del nostro sistema visivo nel trovare regolarità, correlazioni e schemi che rivelino le informazioni nascoste nei dati numerici.

Ma perché scientifica? Perché non semplicemente visualizzazione? Più che altro per un accidente storico. I metodi per trovare rappresentazioni grafiche di dati numerici si sono via via specializzati secondo il tipo di dato da rappresentare. Così quelli basati sulla realtà fisica, che rappresentano quantità concrete come temperatura o velocità, sono trattati con i metodi e strumenti della visualizzazione scientifica (*Scientific Visualization*) [2, 10], mentre entità più astratte, come testi, indagini marketing o classificazioni di clienti, hanno dato vita all’area della visualizzazione delle informazioni (*Information Visualization*) [1].

I due campi si distinguono anche per come creano la rappresentazione visibile dei dati: la visualizzazione scientifica riporta a video le geometrie che i suoi dati già possiedono, mentre la visualizzazione delle informazioni deve inventare metafore visuali per creare strutture geometriche da associare ai suoi dati che geometrici normalmente non sono. Nella figura 2, a sinistra, le deformazioni sotto sforzo di un pezzo meccanico sono riporta-

te colorando la superficie del pezzo stesso rappresentato in tre dimensioni. Volendo invece visualizzare quattro caratteristiche per ogni fiore di una certa collezione (figura 2 a destra), ci si trova a dover rappresentare un insieme di punti in quattro dimensioni che non hanno un'immediata corrispondenza spaziale. In questo caso ci fornisce un metodo di rappresentazione grafica la tecnica delle coordinate parallele [1] che trasforma ogni punto in una linea spezzata che congiunge i valori delle sue coordinate riportati su degli assi verticali. Come si vede la visualizzazione

risultante è notevolmente astratta e slegata dalla realtà fisica, ma è il meglio che si possa ottenere per dei dati multidimensionali. Purtroppo la suddivisione della visualizzazione fra scientifica e delle informazioni sembra implicare che la visualizzazione scientifica non sia informativa e che la visualizzazione delle informazioni non sia scientifica. Questo è un peccato perché dividere e separare porta sempre ad un impoverimento delle possibilità. Per fortuna alcuni usi eretici dei metodi di un campo nel campo opposto fanno ben sperare. Un esempio? La genomica:

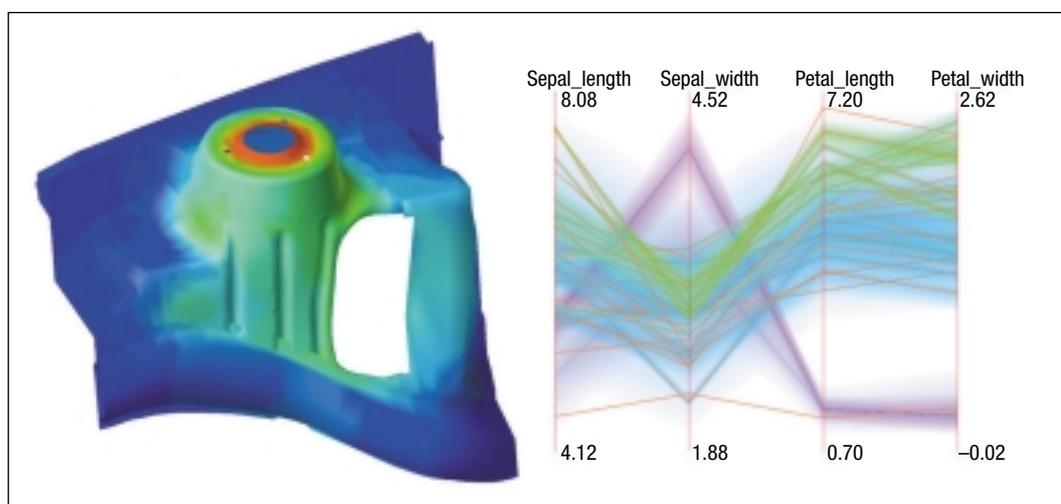


FIGURA 2

A sinistra un esempio di visualizzazione scientifica (grandezza scalare codificata con una scala di colore sulla superficie di un pezzo meccanico); a destra un esempio di visualizzazione di informazioni (un dato 4D con la tecnica delle coordinate parallele)

IL DATO SCIENTIFICO

Un dato scientifico è normalmente composto da una geometria e dai veri e propri valori. La geometria è a sua volta formata da punti eventualmente connessi fra loro per formare celle. I punti possono esistere su un piano o nello spazio e le celle possono essere bidimensionali (per esempio triangoli) o tridimensionali (per esempio tetraedri o celle cubiche). I dati possono essere scalari, vettoriali o multidimensionali ed essere associati ai nodi o alle celle della geometria.

PERCEZIONE DELLA TRIDIMENSIONALITÀ

Il principale problema della visualizzazione scientifica è quello di rendere percepibile la terza dimensione su uno schermo video che è bidimensionale. Il metodo più ovvio è utilizzare dei proiettori stereo che, tramite appositi occhiali, fanno vedere ad ogni occhio la scena tridimensionale come verrebbe vista se fosse reale. Questa soluzione ha lo svantaggio di richiedere hardware specializzato e non è facilmente tollerata per lunghi periodi provocando a volte nausea e malesseri. La soluzione più efficace è invece l'uso combinato di alcuni "suggerimenti" (*depth cues*) nella scena grafica, come la prospettiva o l'infittirsi di linee e motivi allontanandosi dal punto di vista, con l'interazione attiva da parte dell'utente. Il poter navigare nella scena, girando attorno agli oggetti grafici e cambiando il punto di vista è, infatti, il meccanismo più potente che abbiamo a disposizione per ricostruire mentalmente una struttura tridimensionale.

LA TECNOLOGIA DELLA VISUALIZZAZIONE

Il risultato degli algoritmi delle tecniche di visualizzazione deve essere trasformato in immagini sullo schermo quanto più velocemente ed efficacemente possibile, soprattutto per supportare l'interazione e navigazione attiva da parte dell'utente. La tecnologia che rende tutto ciò economicamente possibile non viene dal campo scientifico, ma bensì dai giochi interattivi. Le schede video 3D a livello consumer hanno ormai potenza più che sufficiente anche per le esigenze della visualizzazione. Gli unici problemi si hanno quando una certa funzionalità grafica non viene utilizzata dai maggiori giochi a computer per cui spesso si scopre che la sua implementazione è piena di banchi, come per esempio è successo in passato con il tracciamento di linee tratteggiate.

tratta dati fisici, ma quasi sempre con i metodi della visualizzazione delle informazioni. La visualizzazione scientifica è qualcosa che interessa solo scienziati e ricercatori? Assolutamente no! Sempre più spesso siamo bombardati da informazioni e dati difficili da comprendere e gestire. Dalla mucca pazza all'andamento dei mercati finanziari, alle nuove tecnologie indispensabili per l'innovazione, dobbiamo sempre più frequentemente farci un'idea di numeri e dati che rientrano sì negli interessi degli scienziati, ma che toccano anche la nostra vita quotidiana. Guardando infine al risultato, vediamo che le immagini prodotte da un sistema di visualizzazione, oltre ad essere ricche di informazioni, sono spesso anche esteticamente molto belle. Viene quasi da pensare che, in fondo, la visualizzazione non sia altro che una parte della grafica computazionale che tante meraviglie propone in campi come quello dell'intrattenimento. Certo, per tanti aspetti i metodi utilizzati sono gli stessi, ma non lo è l'obiettivo: la grafica computazionale ha lo scopo di creare illusione, di stupire, mentre la visualizzazione vuole migliorare la comprensione dei dati e le nostre capacità cognitive.

4. IL DOPPIO RUOLO DELLA VISUALIZZAZIONE

“Scoprire l'imprevisto, descrivere e spiegare il conosciuto” è il motto di un gruppo di visualizzazione, ma è anche un'ottima definizione del doppio ruolo svolto dalla visualizzazione nella ricerca. Innanzitutto è uno strumento per esplorare e capire, uno strumento che aiuta nel lavoro di scoperta e comprensione. E poi, una volta che le conoscenze siano state acquisite, la visualizzazione fornisce i mezzi per presentare e comunicare i risultati tramite immagini e filmati. Esplorare e comunicare sono due facce della stessa medaglia: nel primo caso si comunica a se stessi quello che ancora non si conosce, nel secondo si comunica ad altri quello che si è scoperto. Non solo, i due ruoli sono legati anche per un altro aspetto: si può comunicare solo quello che si è capito e dover presentare le proprie idee ad altri aiuta a capirle meglio. Sfortunatamente la percezione del ruolo della visualizzazione si è lentamente spostata

dal primo al secondo obiettivo. Si è finito per considerare la visualizzazione un mero strumento di post processing, un qualcosa necessario solo per creare delle belle immagini per presentare risultati e conclusioni. Sì, è vero, è un ruolo importante, ma limitativo rispetto all'aiuto che la visualizzazione come strumento di analisi può fornire.

Questo spostamento del centro di interesse ha avuto anche un altro effetto: quello di banalizzare il processo di visualizzazione riducendolo a una semplice cascata di tre elementi: prima la modellazione del fenomeno, seguita dalla fase di calcolo che produce i dati, per terminare con la visualizzazione che crea la presentazione finale. Ma in realtà il processo è molto più ricco e complesso.

5. IL PROCESSO DI VISUALIZZAZIONE

Il processo di visualizzazione è una parte del più generale processo di comprensione e scoperta illustrato nella figura 3.

Il ricercatore ha sotto mano un oggetto di studio del quale ha, di solito, già in mente un modello concettuale che guida le sue analisi e, purtroppo, pone anche vincoli preconetti alla sua interpretazione. L'oggetto di studio normalmente non può essere esaminato direttamente, non ha senso per esempio tagliare a fette il cervello di un paziente vivo per vedere se è presente un tumore, per questo si analizzano dei campioni numerici: i dati. I preconetti e l'idea che il ricercatore si è già fatta dell'oggetto sotto studio guidano poi il progetto degli algoritmi che trasformano i dati ottenuti in una rappresentazione grafica che possa essere vista e percepita.

Dopo che la rappresentazione grafica dei dati è presentata sullo schermo, lo studioso interagisce con essa e con l'algoritmo per esplorare e comprendere meglio i dati e, di conseguenza, il suo oggetto di studio. Oltre a ciò quest'interazione raffina il suo modello mentale che a sua volta influenza la scelta del meccanismo di rappresentazione grafica e così via, in un circolo virtuoso.

Schematizzare in dettaglio la parte propriamente di visualizzazione in questo processo aiuta ad incasellare i concetti sottostanti, come viene fatto dai vari modelli proposti; fra

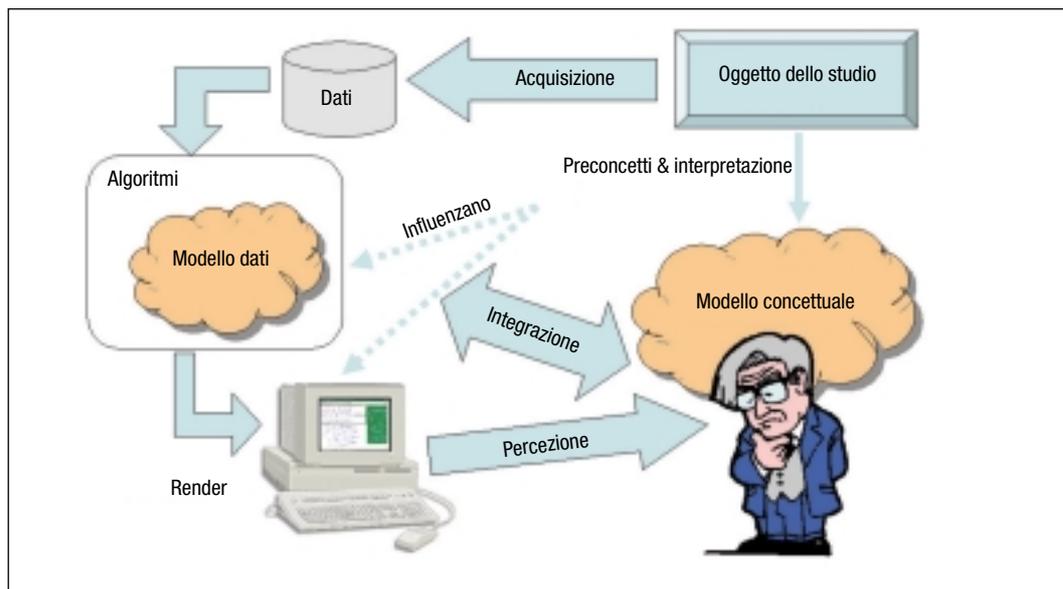


FIGURA 3

Il ciclo di analisi visiva comincia dall'oggetto di studio, prosegue con la creazione del modello e della sua rappresentazione grafica, si conclude con l'aggiornamento del modello concettuale attraverso l'interazione con la rappresentazione grafica (adattato da [11])

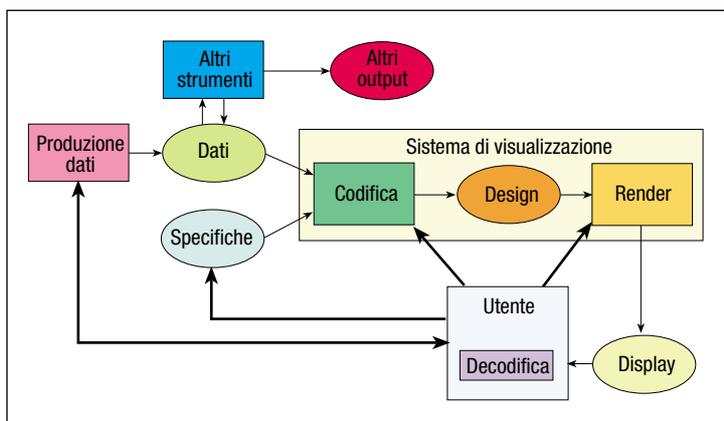


FIGURA 4
Il processo di visualizzazione nel modello di Robertson

questi uno dei più informativi è il modello di Robertson [5] illustrato nella figura 4. Il processo inizia con l'acquisizione dei dati prodotti durante lo studio e la creazione di un modello che descriva, per esempio, se hanno una componente spaziale, che tipo di variabile rappresentano, che dimensionalità hanno, se è presente un qualche tipo di struttura che connette fra di loro i punti a cui sono associati i dati creando superfici o volumi. La prima cosa mostrata dal modello è che utilizzare la visualizzazione è una scelta razionale perché ci sono anche altri metodi di analisi dei dati. Per esempio, se avessimo pochissimi numeri, rappresentarli in forma gra-

fica potrebbe essere controproducente, con uno sbilanciamento fra mezzi impiegati ed effetto ottenuto, mentre l'uso di una tabella risulterebbe più appropriato.

I dati passano quindi al sistema di visualizzazione che, basandosi sulle specifiche dell'utente, trasforma i dati in una raffigurazione grafica e quindi in immagini che vengono presentate all'utilizzatore su di uno schermo oppure su carta o sotto forma di un filmato. La trasformazione da numerico a grafico viene compiuta da una o più tecniche di visualizzazione (vedi [2] cap. 7 e [6]). Ogni disciplina ha creato un certo numero di tecniche standard traendo spunto dai problemi propri della disciplina stessa e dalla tipologia dei dati normalmente utilizzati. Il risultato è un insieme di rappresentazioni grafiche e metafore visuali ben adattate al modo di pensare e modellare mentalmente i fenomeni dei ricercatori di questo settore.

Ogni tecnica è caratterizzata dal tipo di dato su cui opera, dal suo formato logico, dall'algoritmo che trasforma il dato in geometria visibile ed infine dall'obiettivo che la tecnica si pone per quanto riguarda la percezione dell'utente. Non fanno invece parte della definizione di tecnica le considerazioni sul formato fisico dei dati e sull'implementazione in un

determinato strumento di visualizzazione. Questi parametri possono certamente influenzare l'adozione di una specifica tecnica in un caso particolare, ma a priori non hanno effetto sulla sua definizione.

Le tecniche di visualizzazione possono essere utilizzate da sole oppure in combinazione: se scelte bene i benefici di ciascuna si rafforzano a vicenda, migliorando la percezione e comprensione del fenomeno sottostante. Se, oltre a questo, si fondono assieme dati diversi nella stessa visualizzazione, si può migliorare il risultato cognitivo fornendo un contesto interpretativo, favorendo raffronti e suggerendo relazioni di causa effetto.

Come ultimo passo del processo di visualizzazione entra in gioco una persona umana che, tramite la percezione visiva, estrae un senso dalle immagini prodotte, trova schemi e strutture, conferma o rigetta ipotesi. È chiaro dal modello che l'utilizzatore della rappresentazione visiva non è un mero fruitore, ma interagisce attivamente col sistema di visualizzazione in tre punti: col display navigando nella scena grafica, con l'insieme delle tecniche di visualizzazione scegliendo le più adatte ed infine con i parametri degli algoritmi utilizzati.

Durante questa fase l'utente diviene parte del ciclo di produzione ed interpretazione dei dati interagendo col sistema di visualizzazione e con il meccanismo di acquisizione dei dati per esplorare e migliorare la comprensione del fenomeno sotto studio, perché è questo lo scopo ultimo della visualizzazione. Possiamo dire che in questo processo la visualizzazione è solo una tecnologia di interfaccia all'interno del ciclo di ricerca che facilita il lavoro di chi, alla fin fine, fa le scoperte. Spesso questa interazione spinge a considerare la visualizzazione alla stregua di arte ed artigianato dacché non si è ancora trovato il "Santo Graal" della visualizzazione: un sistema automatico che produca immagini efficaci per un certo tipo di dato ed un certo obiettivo da raggiungere. Ma che la visualizzazione abbia una forte componente umana è un bene perché le macchine da sole non creano innovazione. Nei processi tipici della scoperta, gli umani, non le macchine, sono ben adattati a trattare dati ambigui e problemi mal posti ed inoltre, come sanno bene i bambini, le scoperte si fanno esplorando.

6. LA VISUALIZZAZIONE NEL MONDO REALE

Un piccolo esempio ci può aiutare a capire il tipo di problemi peculiari che deve affrontare la visualizzazione scientifica ed a tratteggiare il metodo di lavoro usuale di chi utilizza queste tecniche nel proprio lavoro.

Supponiamo che ci venga chiesto di aiutare a migliorare le prestazioni aerodinamiche di una monoposto di Formula Uno nella fase di analisi dei risultati delle simulazioni numeriche utilizzando quelle tecniche di visualizzazione di cui abbiamo parlato tanto bene ai dirigenti della squadra.

Una volta che ci siamo ripresi dallo shock per la responsabilità che ci viene affidata, cominciamo ad analizzare quanto abbiamo a disposizione. Per prima cosa i dati: dal punto di vista fisico abbiamo dei file di dimensioni considerevoli che rappresentano l'andamento di varie grandezze attorno e sulla superficie della macchina. Queste grandezze sono di vario tipo: grandezze scalari, come la densità dell'aria, e grandezze vettoriali, come la velocità dell'aria attorno alla vettura. Alcune grandezze sono definite nello spazio (come appunto la velocità dell'aria o la sua densità), altre solo sulle superfici (per esempio la pressione dell'aria).

Continuando l'analisi dei prodotti dalla simulazione, scopriamo che i dati esistono in una geometria spaziale formata da celle di forma tetraedrica che modella il dominio di calcolo attorno alla vettura, e da superfici composte da soli triangoli che definiscono la struttura esterna della macchina in esame.

Prima di metterci all'opera interpelliamo gli esperti di aerodinamica per sapere che cosa li aiuta di più nel loro lavoro di ottimizzazione delle prestazioni; veniamo così a sapere che vogliono trovare dove si formano vortici indesiderati e dove l'aderenza al terreno viene

Le principali tecniche di visualizzazione

Le più importanti tecniche di visualizzazione scientifica per i principali tipi di dato ([2, 6]) sono:

1. Dato scalare definito su di una superficie: *pseudocolor mapping*.
2. Dato scalare definito in un volume: isosuperficie, isovolume, *slices*.
3. Dato vettoriale definito in un volume: *vector glyphs*, streamlines.

compromessa da una pressione dell'aria troppo alta sotto la scocca.

Ora abbiamo tutto quanto ci serve per creare le nostre visualizzazioni, ma scopriamo che il formato fisico dei dati prodotti dal sistema di calcolo non è leggibile da nessuno dei sistemi di visualizzazione che abbiamo a disposizione. Per fortuna l'avvicinarsi della gara di campionato diventa uno stimolo potente a darsi da fare per trovare un modo di convertire i dati in un formato utilizzabile.

Alla fine vediamo con soddisfazione che gli esperti di aerodinamica interagiscono col programma di visualizzazione, cercando il punto di vista migliore per il modello grafico risultante e modificando i parametri delle tecniche impiegate al fine di trovare una risposta alle domande tacite che si erano inizialmente posti.

Questo piccolo esempio ci fa capire come il processo di creazione di una visualizzazione poggi su due pilastri: la conoscenza dei dati da visualizzare e la conoscenza dell'obiettivo che la visualizzazione vuole raggiungere. Solo in un secondo momento entrano in gioco le possibili tecniche da utilizzare [2, 6, 10] e gli strumenti da impiegare [7].

7. VISUALIZZARE PER COMUNICARE

Come dicevamo, la visualizzazione di dati scientifici, oltre che mezzo per esplorarli ed analizzarli, ha un secondo ruolo: quello di strumento per comunicarli e presentarli. È un ruolo molto importante perché comunicare è essenziale per tutti, ma soprattutto per uno scienziato che, in fondo, deve vendere le proprie idee ed ipotesi e persuadere usando argomenti astratti basati su dei numeri.

Un esempio famoso ci aiuta a capire come l'uso errato di un mezzo di comunicazione possa avere conseguenze tragiche. Nel 1986 la Morton Tiokol, produttrice dei razzi a propellente solido utilizzati durante il decollo dello shuttle, cercò di convincere la NASA a ritardare il lancio della navetta Challenger perché la temperatura troppo rigida dell'aria poteva aver deformato le guarnizioni di tenuta utilizzate dai suoi razzi. Sfortunatamente presentò i dati a sostegno in una forma grafica tale che non riuscì a convincere nessuno. Il risultato è noto: il Challenger esplose in volo

per il cedimento di una guarnizione deformata dalla bassa temperatura [3, 13].

Non c'è però bisogno di ricorrere a scenari così apocalittici per rendersi conto che l'aver i dati corretti non è sufficiente per convincere ed essere persuasivi. Uno scienziato, o chiunque tratti dati oggettivi con metodo scientifico, è spesso convinto che l'informazione giusta parla da sé e di conseguenza non si cura delle regole della comunicazione e della persuasione. Invece gli artisti non si comportano così: nelle loro opere comunicano emozioni, tengono conto delle caratteristiche della percezione umana, conoscono le regole condivise della loro arte e sanno che queste regole all'occorrenza vanno superate per trasmettere più efficacemente il loro pensiero. In altre parole l'artista vede l'invisibile e lo comunica: esattamente gli stessi obiettivi della visualizzazione scientifica.

Si dice che un'immagine vale mille parole e questo, anche se il proverbio è stato inventato da un pubblicitario che lo ha attribuito ad un filosofo orientale, riguarda più che il contenuto informativo, il fatto che un'immagine attira fortemente l'attenzione facendo passare in secondo piano un concomitante messaggio verbale. E non solo, una comunicazione visiva è immediata e globale: non richiede, infatti, difficili inferenze razionali per coglierne il senso e fornire una visione d'insieme di ciò che rappresenta.

Per tutti questi motivi la visualizzazione scientifica, producendo immagini che trasmettono direttamente il contenuto ed il significato di un insieme di numeri, è un potente strumento di comunicazione. Ma col potere va di pari passo una grande responsabilità: le belle immagini sono in grado di nascondere facilmente falsità ed errori oppure possono distorcere il messaggio da comunicare se mal impiegate.

Queste opportunità e difficoltà nascono dal fatto che non siamo macchine. Non possiamo modellare il processo di comunicazione seguendo alla lettera il modello di Shannon. Da un lato del canale di comunicazione non c'è un computer, ma un individuo con la sua percezione, le sue emozioni, modelli mentali, preconcetti ed aspettative.

Comunicare vuol dire mettere in comune, quindi per prima cosa deve esserci una so-

vrapposizione dei campi di esperienza fra emettitore e ricevitore del messaggio. Quando si comunicano dati numerici, utilizzando le immagini prodotte da un sistema di visualizzazione, mai si deve assumere che il ricevente comprenda rapidamente il messaggio giusto perché è lì e perché le immagini sono belle e le metafore visuali interessanti. Bisogna sempre pensare qual è l'informazione che si vuole trasmettere e a chi si rivolge il messaggio adattando di conseguenza le tecniche di visualizzazione impiegate.

A volte si vedono dei diagrammi o delle visualizzazioni infarcite di elementi grafici inutili, come effetti tridimensionali, colori e decorazioni che cercano così di rimpolpare un messaggio povero di contenuti o mal calibrato su chi deve riceverlo; quello che trasmettono è invece solamente che non hanno niente da dire (Figura 5).

Questi abbellimenti inutili che non aggiungono informazione sono stati definiti *chartjunk* da Edward Tufte, professore di "statistical evidence and information design" alla Yale University. Nei suoi libri [12, 13], vere e proprie opere d'arte piene di idee interessanti su come rendere più efficace la comunicazione visuale, insiste sul fatto che chiarezza di pensiero e chiarezza di esposizione vanno a braccetto e che non c'è niente di peggio che minare la propria credibilità con una visualizzazione colorata, ma mal progettata.

Un altro elemento del canale di comunicazione che ci differenzia dalle macchine è il sistema di percezione visiva. Abbiamo già visto quanta importanza abbia la percezione per la visualizzazione ed in generale per la comunicazione. Non solo in negativo, pensando ai

possibili ostacoli dovuti ai limiti e alle patologie dell'occhio umano, ma soprattutto perché se si ignorano le caratteristiche del nostro apparato visivo, si perde efficacia nella comunicazione. La caratteristica principale della comunicazione visiva è l'immediatezza, ma se devo scervellarmi per capire l'immagine che ho davanti, perdo tutti i suoi vantaggi. Un esempio è dato dalla scala di accuratezza nella percezione di informazioni quantitative: la lunghezza di un segmento è percepita più accuratamente di un angolo o di una scala di colori. Di conseguenza i valori numerici saranno percepiti meno accuratamente se trasmessi con un classico grafico a torta, che li codifica con degli angoli, rispetto ad un istogramma a barre che li codifica come posizioni su di una scala verticale.

Qual è allora la base per avere una visualizzazione che comunichi efficacemente? Ancora una volta è, molto semplicemente, conoscere i propri dati, perché i dati sono la sostanza, il motivo ultimo della visualizzazione. Vi ricordate il vecchio acronimo GIGO? Significava *Garbage In, Garbage Out*: da un computer e da una visualizzazione non può uscire qualcosa migliore di ciò che si fornisce in ingresso. Alcuni traducono l'acronimo come *Garbage In, Gospel Out* per porre l'accento sul fatto che tendiamo a credere più ai risultati dell'elaborazione al computer che al nostro stesso giudizio.

Supponiamo per esempio di dover visualizzare altitudini e profondità di una certa area geografica. Se ignoriamo che cosa rappresentano i numeri che abbiamo a disposizione non terremo conto che lo zero, il livello del mare, è speciale perché divide in due gruppi

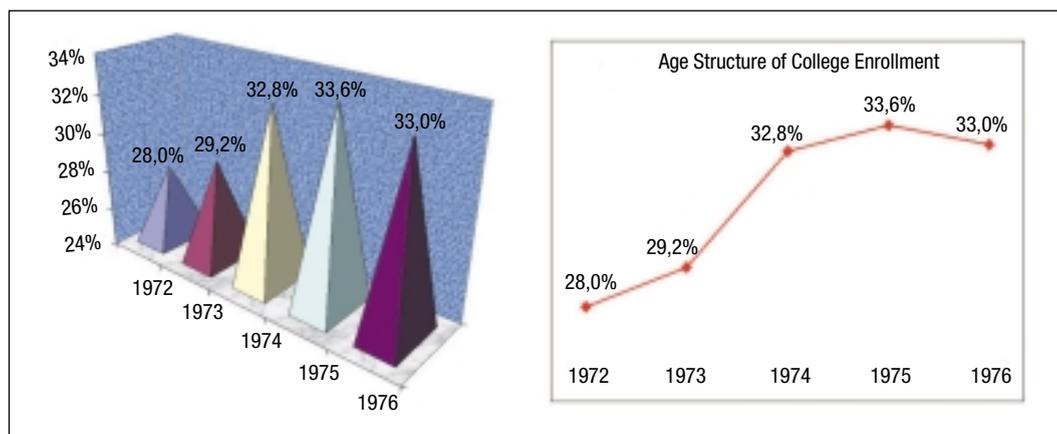


FIGURA 5
Esempio dell'utilizzo di abbellimenti inutili che oscurano i dati (sinistra) invece di rivelarne il significato (destra)

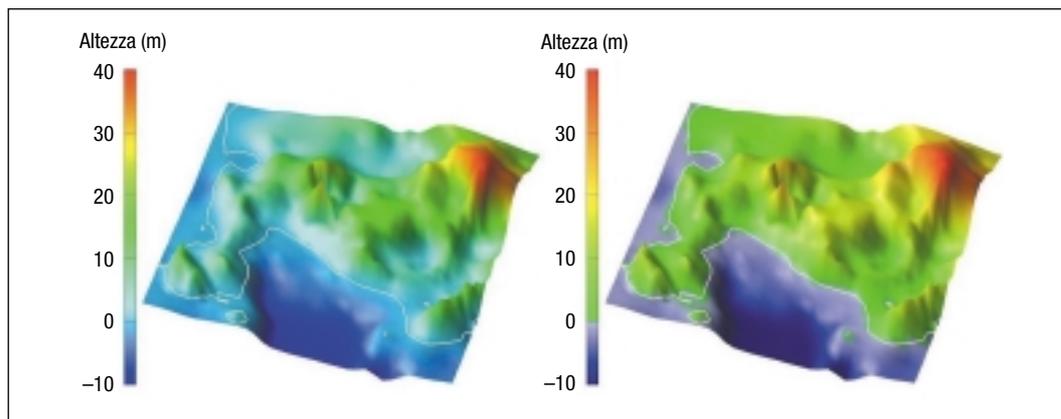


FIGURA 6

Scegliere la scala di colori in base al significato dei dati (destra) rivela più dettagli rispetto all'utilizzo della scala di default (sinistra)

ben distinti i valori delle altitudini. Codificarli utilizzando una singola scala di colori non darà un risultato così chiaro e comprensibile come farebbero invece due scale di colore distinte per le terre emerse e le profondità marine. Nella figura 6 sono visualizzati gli stessi dati topografici della baia di Pozzuoli cambiando solo la scala di colore utilizzata. Come si vede, oltre alla migliore percezione delle aree emerse, l'uso di una mappa di colore appropriata rende visibile in basso a destra l'isola di Nisidia che l'uso di una scala di colore generica nasconde invece fra le sfumature di blu con cui sono rappresentati i valori di altitudine attorno allo zero.

8. VISUALIZZAZIONE IN UN PROGETTO INDUSTRIALE

Il *Centro Nazionale Svizzero di Supercalcolo (CSCS)* [9], unità autonoma del Politecnico Federale di Zurigo, ha una duplice missione: quella di fornire alla comunità scientifica svizzera le risorse di calcolo di cui abbisogna e quella di creare un forte gruppo di ricerca nel campo delle scienze computazionali. In quest'ambito, il CSCS è partner in vari progetti di trasferimento tecnologico dall'università all'industria; ad essi fornisce non solo la potenza di calcolo, la connettività e l'infrastruttura di archiviazione, ma anche le proprie competenze nel campo delle visualizzazioni come strumento di supporto alla ricerca.

Uno di questi progetti ci fornisce un buon esempio di come la visualizzazione possa es-

sere utilizzata in ambito industriale per risolvere un problema ingegneristico reale. Il suo obiettivo è lo sviluppo di metodi avanzati per la simulazione del flusso d'acqua nelle turbine idroelettriche Pelton al fine di migliorarne l'efficienza. Queste turbine sono utilizzate dove esiste un notevole dislivello fra il bacino di raccolta dell'acqua e la centrale idroelettrica, come avviene negli ambienti alpini. Vista la gran quantità di turbine di questo tipo installate anche nella sola Svizzera, un loro incremento di efficienza porterebbe notevoli benefici economici.

Il ruolo del gruppo di visualizzazione del CSCS nel progetto è primariamente quello di creare visualizzazioni per i risultati delle simulazioni al fine di aiutare a validare il modello di calcolo utilizzato. Non meno importante è il contributo che potrà fornire nella scoperta di fenomeni il cui studio possa portare al miglioramento dei metodi di progetto. In concreto i due incarichi iniziali sono stati: la visualizzazione delle forze agenti sul getto d'acqua per verificare le ipotesi fatte in fase di modellazione e la visualizzazione di pressioni e coppie meccaniche agenti sulle palette per studiare il trasferimento di energia tra il getto d'acqua ed il rotore della turbina.

Osserviamo subito che le due attività sono essenzialmente visualizzazioni di tipo esplorativo, vale a dire attività in cui si impiegano tecniche proprie della visualizzazione scientifica per estrarre informazioni dai dati numerici disponibili senza a priori limitarsi ad un insieme predefinito di rappresentazioni o di

ipotesi sui dati. Per prima cosa è stato quindi selezionato uno strumento di visualizzazione che rendesse possibile sia un approccio di tipo prototipale allo sviluppo che l'aggiunta ed integrazione di tecniche di visualizzazione non standard. Lo strumento adottato è stato AVS/Express [8], un software specifico per la visualizzazione scientifica con un'interfaccia di programmazione visuale molto intuitiva.

Il primo passo essenziale per creare una qualsiasi visualizzazione è ovviamente quello di riuscire a leggere i dati da rappresentare. Lo strumento utilizzato per la simulazione numerica del comportamento della turbina salva i risultati nel suo formato nativo, ma, volendo, li può anche esportare in un formato standard per la fluidodinamica computazionale, chiamato CGNS. Dopo alcune prove si è deciso che la soluzione migliore sarebbe stata la scrittura di un lettore per il formato nativo da integrare nello strumento di visualizzazione, invece di utilizzare il lettore standard per il formato CGNS già esistente. La motivazione principale per questa scelta è stata che esportare i dati in un formato standard, anche se ciò renderebbe possibile la lettura diretta, significherebbe raddoppiare la richiesta di spazio disco e creare problemi di allineamento fra dati salvati in due formati diversi.

Superato questo primo scoglio, si è passati ad analizzare la struttura dei dati prodotti dalla simulazione. Il dominio di calcolo è il volume, compreso fra lo statore ed il rotore della turbina, dove agiscono i getti d'acqua. Questo volume è suddiviso in celle tetraedriche mentre le superfici del rotore e dello statore sono suddivise in celle triangolari. Ad ogni nodo di questi due gruppi di celle sono associate le 39 grandezze, sia vettoriali che scalari, prodotte dalla simulazione.

Il calcolo modella la complessa miscela formata dai getti d'acqua e dall'aria presente all'interno della turbina non come due distinti fluidi, ma come un singolo fluido virtuale composto in ogni punto da una diversa percentuale di acqua ed aria. Per questo motivo una delle variabili, con valore adimensionale compreso fra zero ed uno, indica la frazione di acqua presente in ogni punto di questo fluido virtuale. Per convenzione il getto d'acqua è rappresentato dai punti in cui questa variabile assume un valore maggiore od

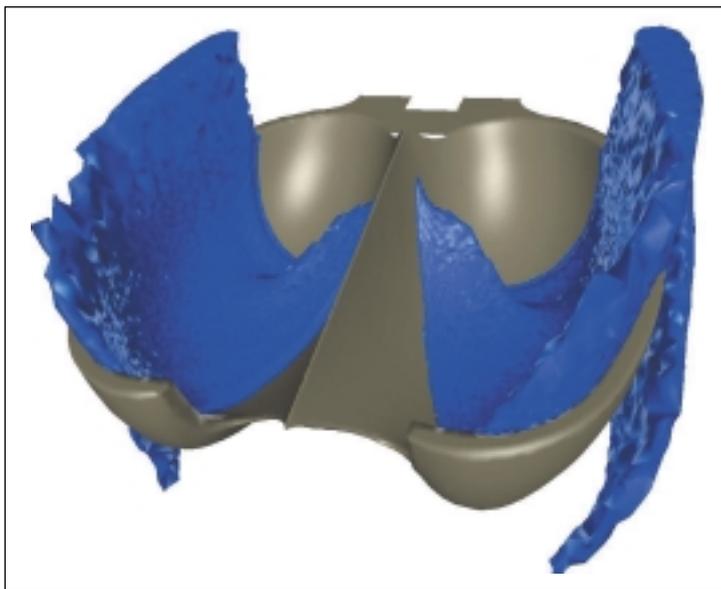


FIGURA 7

Una paletta di turbina Pelton mentre scarica l'acqua alla fine del ciclo di lavoro. (L'immagine è cortesia di VA TECH HYDRO ed EPF Losanna)

uguale a 0,5. L'aspetto fisico della colonna d'acqua si potrà quindi estrarre semplicemente con un isovolume, una tecnica di visualizzazione che produce un volume geometrico composto dalle regioni dove una data variabile assume un valore maggiore od uguale ad un valore dato (Figura 7).

Come dicevamo, la prima richiesta del progetto è stata quella di visualizzare le sei forze agenti in ogni punto del getto d'acqua per validare le ipotesi fatte nella sua modellazione. In particolare si doveva rispondere alle seguenti domande: qual è l'importanza relativa di ciascuna forza? Quali forze possono essere ignorate per via del loro modesto contributo alla forza risultante? Le ipotesi fatte nel definire le equazioni della simulazione sono valide in tutto il volume della colonna d'acqua?

A voler essere precisi, il valore delle forze non è contenuto direttamente nei dati da visualizzare, anche se può essere ricavato da questi. La scelta di aggiungere del codice di calcolo al programma di visualizzazione è stata dettata da motivi di ordine pratico: modificare il codice di simulazione per creare delle variabili necessarie solo in fase di visualizzazione non è sembrato il modo più pratico d'impiegare risorse di memorizzazione, calcolo e, soprattutto, tempo di sviluppo.

Durante la codifica di questo modulo di cal-

colo si è utilizzata estesamente la validazione visiva delle forze risultanti per arrivare ad un ragionevole grado di confidenza nella correttezza del codice. Per esempio, visualizzando le forze come vettori sulla geometria della turbina, si sono facilmente scoperti e corretti alcuni errori di segno nell'implementazione delle formule di calcolo. La rappresentazione visiva è diventata quindi uno strumento di comunicazione fra l'esperto di visualizzazione e chi conosce il significato dei dati e delle formule di idrodinamica.

Una volta ottenute le forze, bisognava scegliere un metodo per visualizzarle; il più naturale è l'uso di frecce per rappresentare in ogni punto questi vettori con una tecnica nota come *vector glyphs* o *hedgheg*. Purtroppo, ci si è resi subito conto che il risultato ottenuto non era molto informativo perché graficamente mostrava solo un insieme confuso, come un "porcospino" di vettori (Figura 8). In più le varie forze hanno valori notevolmente differenti, cosicché quelle più piccole risultavano illeggibili e scomparivano al confronto delle altre.

Visto il risultato deludente di questa prima implementazione, si è iniziato a pensare a qualche metodo innovativo e meno usuale. Si è perciò creata una nuova tecnica che assegna ad ognuna delle sei forze un voto fra zero ed uno in base all'importanza del suo contributo alla forza totale per ogni punto. Si

ottengono così sei valori scalari che possono essere visualizzati con isovolumi, come è stato fatto per la colonna d'acqua, stabilendo, per esempio, che la forza più importante è quella il cui contributo ha un voto superiore a 0,5 (Figura 9). Si è passati così da sei grandezze vettoriali, difficili da visualizzare, a sei visualizzazioni di dati scalari molto più facili da interpretare e confrontare.

Il secondo compito assegnato al gruppo di visualizzazione riguardava la visualizzazione delle pressioni e coppie meccaniche agenti sulla paletta della turbina per studiare il trasferimento di energia tra il getto d'acqua ed il rotore della turbina stessa. Come nel caso precedente, solo la pressione era disponibile fra i risultati della simulazione; bisognava quindi calcolare la coppia meccanica nel modulo di visualizzazione a partire da altri valori. La tecnica di visualizzazione adottata è stata la rappresentazione a falsi colori dei valori della grandezza scalare, pressione o coppia meccanica, sulla superficie della paletta in cui la codifica da valore a colore avviene utilizzando una scala di colori detta *colormap*. Nel progetto una complicazione addizionale è venuta dall'esigenza di non divulgare dati numerici che sono ancora segreto industriale, creando

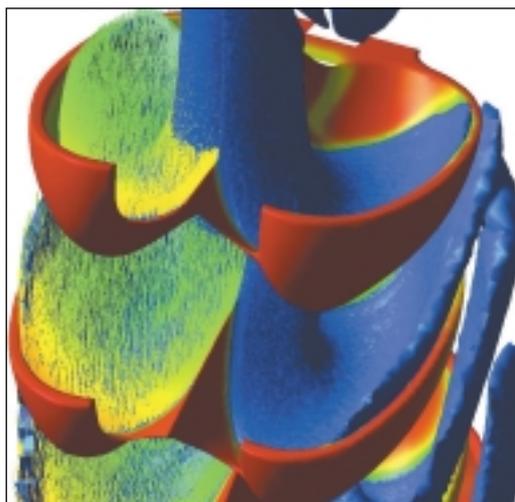


FIGURA 8
La rappresentazione usuale dei vettori forza agenti sulla colonna d'acqua (sinistra) è corretta, ma non informativa. (L'immagine è cortesia di VA TECH HYDRO ed EPF Losanna)

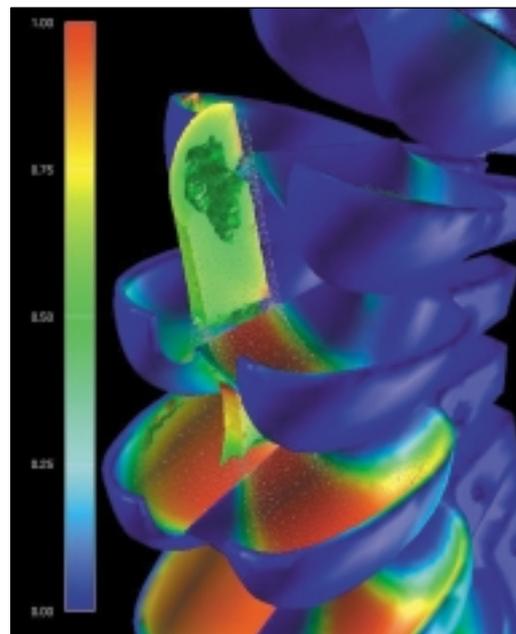


FIGURA 9
Porzione del getto d'acqua dove il contributo di una delle forze è prevalente. (L'immagine è cortesia di VA TECH HYDRO ed EPF Losanna)

però nel contempo una visualizzazione sufficientemente informativa.

In questo studio esplorativo, oltre all'aiuto fornito alla validazione del codice di calcolo, si sono potuti toccare con mano i benefici della visualizzazione utilizzata come strumento di l'analisi:

1. Sono stati trovati problemi nella simulazione stessa non immediatamente percepibili dai dati grezzi: una delle variabili calcolate aveva, infatti, valori numericamente accettabili, ma privi di validità fisica.

2. Il fatto che le forze calcolate avessero una così ampia gamma di valori, ha richiesto un'analisi più approfondita delle unità di misura utilizzate per le variabili in arrivo dal codice di simulazione: questo ha portato alla scoperta che il valore numerico di una costante utilizzata dal modulo di calcolo era espresso in unità di misura non congruenti con il resto della formula, generando così valori numerici per una forza molto differenti dalle altre forze in gioco.

3. L'analisi visiva delle mappe di colore, che rappresentavano pressioni e coppie meccaniche sulla superficie delle palette della turbina, ha spinto ad analizzare l'impiego di differenti metodi di codifica dei valori con una scala di colori, sia per mettere in risalto le strutture più fini presenti nei dati, sia, appunto, per non divulgare dati numerici riservati. Risolti questi punti, le visualizzazioni prodotte hanno soddisfatto le esigenze di analisi nella fase corrente del progetto. Un interessante effetto collaterale di questo lavoro è stato che il partner industriale ha incorporato le tecniche di visualizzazione più efficaci nel suo insieme di strumenti standard per lo studio delle turbine Pelton.

9. CONCLUSIONE

Siamo partiti da un problema molto generale di comprensione ed assimilazione di informazioni e ne abbiamo analizzato i meccanismi percettivi. Abbiamo poi visto come l'utilizzo di strumenti esterni faciliti l'impiego dei modelli mentali e come la percezione visiva non sia solo uno strumento per interfacciarsi ad essi, ma fornisca anche dei potenti meccanismi cognitivi. Meccanismi che ci permettono l'assimilazione di informazioni senza passare attraverso difficili inferenze logiche, ma piuttosto

tramite la percezione immediata di immagini e modelli grafici tridimensionali.

La visualizzazione scientifica si fonda su queste premesse convertendo i dati numerici in rappresentazioni grafiche per rendere possibile l'applicazione delle capacità di analisi del nostro apparato visivo alla loro comprensione ed assimilazione. I vari strumenti disponibili offrono una ampia gamma di tecniche e rappresentazioni, ma tutti alla fine devono produrre comprensione e non solo belle immagini.

Per passare dalla teoria alla pratica, come si fa a scegliere una visualizzazione efficace? Come districarsi fra le offerte, sia commerciali che accademiche, di strumenti di visualizzazione? Potremmo dire che tutto si riassume nell'ascoltare l'utilizzatore della visualizzazione e nel conoscere i dati. La visualizzazione risultante sarà memorabile se avrà contenuto, se sarà capita e se lo scopo che si prefigge non sarà solo mostrare belle immagini.

L'esperienza fatta rispondendo alle richieste degli utenti del CSCS ci ha mostrato che l'attività più importante per ottenere una buona visualizzazione è ascoltare l'utente: sembra scontato e banale, ma non sempre accade. Spesso l'utente non ha idee chiare su quello che vuole e che sta cercando. Bisogna coinvolgerlo in un ciclo in cui abbozza un'idea, l'esperto la raffina ed implementa, l'utente vede i risultati e si chiarisce l'idea originale e così può fornire altri particolari all'esperto che migliora l'implementazione e così via. Perché questo ciclo funzioni è d'importanza vitale l'interazione con l'utilizzatore della visualizzazione: non si riesce a creare una visualizzazione accettabile al telefono o solo via posta elettronica. La creazione di visualizzazioni è quindi più un processo di interazione umana che un insieme di strumenti software.

In secondo luogo l'esperienza pratica ci ha più volte ricordato che non bisogna mai dimenticare le differenti esigenze al cui servizio si pone la visualizzazione: esplorare, capire, presentare e comunicare. Presentare è bello, visibile e gratificante, ma molto spesso è aiutando l'esplorazione di un fenomeno che si ottengono i risultati importanti.

E come si inizia? Come fanno gli artisti: guardando, usando gli occhi, studiando, per esempio, quanto esiste nelle riviste scientifiche del

proprio settore. E poi essendo curiosi: provando a domandarsi che cosa succederebbe se si utilizzassero metodi grafici per impieghi improbabili, sostituendo per esempio parti di una relazione al management con delle visualizzazioni. Nessuno ci obbliga, infatti, ad utilizzare la visualizzazione nell'analisi dei nostri propri dati, ma se non si inizia a provare ad utilizzarla non se ne scopriranno mai i benefici. In concreto si può incominciare a sperimentare qualche strumento [7] essendo però preparati a non avere una gratificazione immediata perché, purtroppo, non esiste un'applicazione che copra tutte le tecniche possibili per ogni possibile tipo di dato con un'interfaccia intuitiva ed immediatamente utilizzabile. Terminiamo ricordiamo il monito che Richard Hamming fece più di quaranta anni fa: scopo del calcolo è la comprensione, non i numeri. Per noi, scopo della visualizzazione deve essere la comprensione, non solo la produzione di belle immagini.

Bibliografia

- [1] Card S. K., Mackinlay J., Shneiderman B.: *Readings in Information Visualization – Using Vision to Think*. Morgan Kaufman Publishers, 1999.
- [2] Marmo R., Valle M., Zannoni C.: *Introduzione alla Visualizzazione Scientifica*. Editrice Il Rostro, 2005.
- [3] Matricciani E.: *Fondamenti di comunicazione tecnico-scientifica*. Apogeo, 2003.
- [4] McCormick B.H., De Fanti T.A., Brown M.D.: *Visualization in Scientific Computing* Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, Vol. 21, n. 6, 1987.
- [5] Robertson P., De Ferrari L.: *Systematic Approaches to Visualization: Is a Reference Model Needed?* In Scientific Visualization, Advances and Challenges, Ed: L. Rosenblum, et al., Academic Press, 1994.
- [6] Sito <http://www.cscs.ch/~mvalle/Libro>
- [7] Sito <http://www.cscs.ch/~mvalle/visualization/tools.html>
- [8] Sito <http://www.av5.com/>
- [9] Sito <http://www.cscs.ch/> (l'acronimo CSCS deriva dalla precedente denominazione di Centro Svizzero di Calcolo Scientifico)
- [10] *The Visualization Handbook*. Editors C. Hansen and C. Johnson, Academic Press, 2004.
- [11] Tory M., Möller T.: *Rethinking Visualization: A High-Level Taxonomy*. IEEE Symposium on Information Visualization 2004, p. 151-158.
- [12] Tufte E.R.: *The Visual Display of Quantitative Information*. 2nd edition, Graphics Press, 2001.
- [13] Tufte E.R.: *Visual Explanations: Images and Quantities. Evidence and Narrative*, Graphics Press, 1987.

MARIO VALLE da dieci anni si occupa di visualizzazione e attualmente lavora al Centro Nazionale Svizzero di Supercalcolo aiutando la comunità scientifica svizzera nell'uso della visualizzazione, specialmente in campo chimico.
mvalle@cscs.ch

ROBERTO MARMO ha conseguito il dottorato di ricerca all'Università di Pavia in Visione Artificiale e si occupa di visualizzazione e comunicazione scientifica, elaborazione di immagini e riconoscimento di forme con intelligenza artificiale.
marmo@vision.unipv.it