

# APPLICAZIONE DELLA NORMA ISO 16792:2006 PER LA SPECIFICAZIONE GEOMETRICA DI PRODOTTO 3D IN AMBITO AUTOMOTIVE

Angelo Oreste Andrisano  
*Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”,  
Università di Modena e Reggio Emilia, Italia  
E-mail: angelo.andrisano@unimore.it*

Francesco Gherardini  
*Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”,  
Università di Modena e Reggio Emilia, Italia  
E-mail: francesco.gherardini@unimore.it*

Cristina Renzi  
*Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”,  
Università di Modena e Reggio Emilia, Italia  
E-mail: cristina.renzi@unimore.it*

Enrico Bonazzi  
*Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”,  
Università di Modena e Reggio Emilia, Italia  
E-mail: ernico.bonazzi@unimore.it*

Francesco Leali  
*Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”,  
Università di Modena e Reggio Emilia, Italia  
E-mail: francesco.leali@unimore.it*

**Abstract.** *Accanto alla documentazione tecnica di prodotto mediante disegni ed annotazioni 2D, nella pratica industriale è fortemente sentita l'esigenza di gestire le informazioni tecniche di prodotto direttamente nell'ambiente di modellazione CAD 3D. Con l'obiettivo di migliorare la gestione del ciclo di vita di prodotto tramite modelli 3D, i produttori di software CAD 3D commerciali e l'industria stessa, soprattutto in ambito automotive ed aerospace, hanno generato molteplici soluzioni che tuttavia risultano individualizzate e non univoche. La normativa tecnica ISO definisce linee guida per la specificazione geometrica di prodotto 3D, che tuttavia risultano solamente in parte accolte da un punto di vista industriale e commerciale. In questo scenario, il presente studio vuole verificare l'implementazione dei contenuti della norma ISO 16792:2006 in alcuni CAD 3D commerciali selezionati. Mediante un benchmark industriale opportunamente identificato, i CAD 3D sono comparati sulla base di criteri redatti secondo la norma ISO 16792:2006 stessa. I risultati ottenuti permettono di individuare, per ogni CAD 3D analizzato, eventuali gap operativi ed i relativi interventi volti a garantire il raggiungimento di un livello*

*comune di applicabilità della norma e di leggibilità della documentazione tecnica 3D generata.*

**Keywords:** *documentazione tecnica di prodotto, specificazione geometrica, normativa ISO, annotazioni 3D, CAD, automotive*

## **1. INTRODUZIONE**

La documentazione tecnica di prodotto è tradizionalmente associata al disegno bidimensionale in cui, accanto a viste in proiezione ortogonale e sezioni o tagli, vengono allocate annotazioni di natura geometrica, tecnologica e funzionale. Tuttavia, in ambito industriale, e in particolare nel settore automotive ed aerospace, l'inserimento e la completa gestione delle informazioni tecniche di prodotto esclusivamente mediante strumenti 3D permetterebbe di rendere più efficiente la gestione del ciclo di vita del prodotto. Ad oggi, l'annotazione e la specificazione geometrica in 3D restano questioni aperte a causa di una non univoca ed incompleta implementazione a livello di software CAD 3D commerciali. La principale, e più grave, conseguenza è il problema di comunicazione e di interpretazione delle informazioni tecniche che impatta sulla corretta trasmissione del design intent.

### **Trasmissione del design intent**

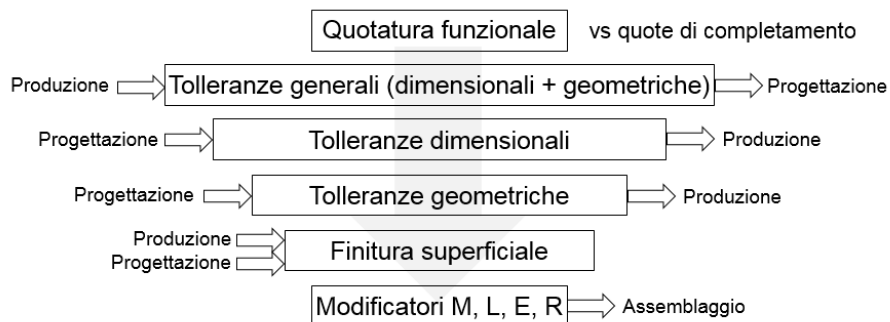
Il design intent è la volontà progettuale che deve essere trasferita dal progettista al prodotto attraverso un metodo che adotta, accanto al linguaggio grafico, strumenti tecnici teorici quali:

- la quotatura e la definizione dei riferimenti,
- la specificazione geometrica di prodotto,
- le note (annotazioni).

La quotatura, che può essere classificata -sulla base dell'obiettivo- come funzionale, di fabbricazione (o tecnologica) e di collaudo, e la specificazione geometrica di prodotto, che prescrive invece tolleranze generali, dimensionali e geometriche, e grado di finitura superficiale, permettono di stabilire una relazione funzionale tra gli elementi di una parte, in modo da comunicare con esattezza il design intent e/o la sequenza logica di montaggio (orientamento, localizzazione, eventuale bloccaggio) e/o rendere univoca la sequenza di controllo (Fig. 1).

Il disegno costruttivo bidimensionale, ad oggi, continua ad avere come obiettivo principale la trasmissione del design intent, in quanto le annotazioni precedentemente elencate sono assegnate alle viste 2D in fase di messa in tavola. Tuttavia, nell'ambiente CAD 3D, la messa in tavola segue cronologicamente la modellazione tridimensionale, la cui realizzazione va ben oltre la semplice descrizione geometrica di prodotto.

Gli attuali software CAD 3D commerciali sono infatti in grado di trasferire il design intent attraverso l'atto stesso della modellazione 3D, cioè attraverso le modalità con cui il progettista arrangia le feature ed assegna le relazioni parametriche e geometriche che definiscono gli accoppiamenti e la funzionalità delle parti. La modellazione CAD 3D è quindi uno strumento diretto ed immediato nella comunicazione del design intent.



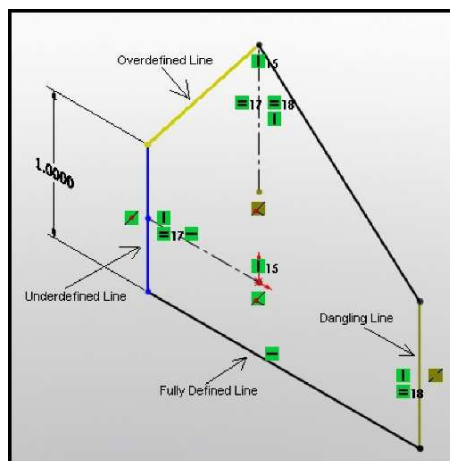
**Figura 1.** Flusso di annotazione di un disegno 2D sulla base di input e output di natura progettuale, produttiva e di assemblaggio.

I software CAD commerciali di modellazione 3D sono infatti, ad oggi, accomunati da una serie di proprietà quali la parametricità (variable-driven design), l’associatività tra gli ambienti di modellazione, l’approccio alla modellazione mediante feature (feature-based), che sono di tipo tecnologico e progettuale (design oriented) e che generalmente vengono gerarchicamente descritte in sequenza (history-based) mediante un “albero delle funzioni”.

Il progettista può quindi comunicare le funzionalità del pezzo, piuttosto che un’informazione tecnologica già attraverso l’atto stesso della modellazione 3D che rappresenta, quindi, la prima espressione del design intent. La modellazione non deve quindi essere la descrizione geometrica (o “as built”) del componente, ma la descrizione del prodotto e del relativo processo, in cui sono significativi la definizione degli schizzi e dei relativi vincoli, il tipo di funzione utilizzata, l’ordine e la sequenza delle funzioni. In particolare, già nel primo atto della modellazione, cioè la scelta del piano di schizzo e nella creazione dello schizzo stesso, il design intent si esprime attraverso la definizione dei vincoli (Fig. 2) che rappresentano, insieme alla parametricità, il cuore della modellazione “progettata”. I vincoli possono essere classificati in geometrici, topologici, dimensionali ed algebrici (cioè ricorrendo alla scrittura di equazioni che legano i parametri di modellazione). A prescindere dalla loro natura, i vincoli possono essere dichiarati esplicitamente dall’utente (cioè “l’utente impone”), dichiarati implicitamente dall’utente durante la costruzione del modello (cioè “il sistema CAD inferisce”) oppure acquisiti a posteriori dal sistema CAD processando il disegno.

Un differente approccio alla modellazione 3D è la modellazione esplicita, in contrapposizione alla modellazione feature- e history-based, definita commercialmente come “modellazione diretta” (Creo Elements/Direct Modeling, PTC) o “modellazione sincrona” (SolidEdge, Siemens PLM software). La modellazione esplicita permette al progettista di modellare liberamente senza seguire rigidi schemi parametrici e vincolati alla storia di modellazione.

A livello di trasferimento di design intent, si evidenziano due differenze importanti tra sistemi feature- e history-based e sistemi di modellazione esplicita. La prima differenza, a favore dei primi, è la possibilità di comunicare il design intent attraverso la storia di modellazione e la scelta delle feature stesse, che invece manca nei secondi.



**Figura 2.** Creazione di uno schizzo e definizione dei vincoli in SolidWorks 2014 (Dassault Systemes).

La seconda differenza è a livello di indicazione delle quote di progetto [1]. Nei sistemi feature- e history-based, il progettista assegna le quote all'interno degli schizzi 2D, mentre le restanti quote vengono estrapolate dal sistema a partire dai valori assegnati alle feature di scorrimento (es. estrusione o protrusione): in tal senso la quota è "locale", cioè collegata ad una feature di lavorazione. Lo schema di quotatura nel modello 3D è quindi vincolato dalla storia stessa di modellazione, e ne segue lo schema di costruzione che può non essere di tipo funzionale, con successiva necessità di modificarlo nella messa in tavola. Nei sistemi a modellazione esplicita, invece, il progettista assegna le quote direttamente sul modello 3D, senza vincoli cronologici o gerarchici in termini di modellazione: le quote risultano "globali" ovvero associate al modello nella sua interezza.

### **Eliminazione della documentazione di prodotto 2D**

A prescindere dall'approccio di modellazione, il CAD è oggi lo strumento principale di progettazione mediante due ambienti distinti:

- 2D drawing,
- 3D modelling,

secondo il modello presentato in Fig. 3-a. La fase centrale della sequenza di attività presenta il passaggio da un modello geometrico 3D al disegno 2D, in cui le viste 2D devono essere integrate con le annotazioni per la specificazione geometrica di prodotto, al successivo ritorno ad un modello 3D da utilizzare come prototipo virtuale nell'ulteriore integrazione di prodotto e processo.

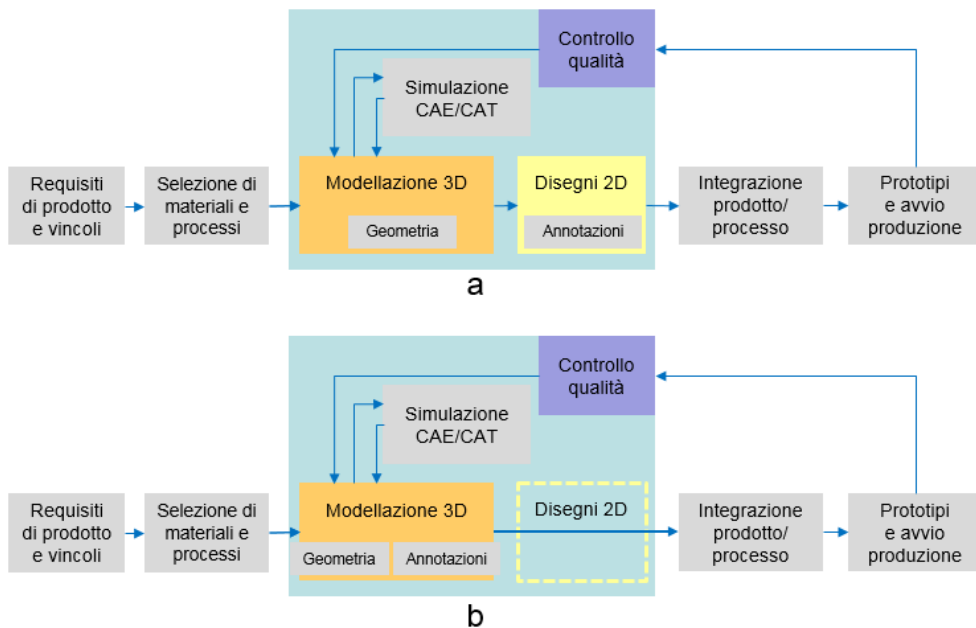
Nella pratica industriale è evidente la necessità di integrare gli ambienti 3D e 2D, allocando tutto il contenuto informativo del componente, implicito od esplicito, nel modello 3D (Fig. 3-b). Tale opportunità appare maggiormente evidente in quei settori industriali, quali i settori automotive ed aerospace, caratterizzati da prodotti complessi e costituiti da numerosi componenti, con necessità di progettazione collaborativa (co-design) e di rapido trasferimento di informazioni. Da un punto di vista informatico, i software CAE/CAT/CAM commerciali sono ad oggi in grado di leggere ed utilizzare direttamente l'informazione

contenuta nel modello 3D. Il file CAD 3D diventa quindi un vettore di informazioni geometriche, dimensionali e funzionali.

La principale conseguenza di un ambiente unico di annotazione in cui definire tutti gli aspetti associati al prodotto è l'eliminazione della documentazione 2D dal loop di progettazione, a cui seguono i seguenti evidenti vantaggi:

- Riduzione dei tempi di progettazione e di modifica del progetto,
- Gestione di un unico modello, evitando la duplicazione delle informazioni in modelli 3D e disegni 2D,
- Assenza di errori di trasferimento a seguito dell'aggiornamento del modello 3D,
- Invio di un unico modello ai fornitori,
- Interpretazione univoca delle annotazioni e migliore leggibilità.

Un esempio di integrazione fra ambienti 3D e 2D in ambito automotive è presentato in [2], in cui l'integrazione delle informazioni relative alle parti all'interno dei modelli 3D è finalizzata all'implementazione della catena di tolleranze nell'ambito di sistemi complessi quali i telai automotive. La validazione del modello viene realizzata su casi studio forniti da Ferrari SpA, relativi al problema dell'assemblaggio di telai e di plance auto.



**Figura 3.** Fase di annotazione tradizionale dei disegni 2D (a) ed annotazione diretta dei modelli 3D (b) nel processo di sviluppo prodotto.

## Quadro normativo

La specificazione geometrica di prodotto, formalizzata nelle norme Geometrical Product Specifications (GPS), si pone come esplicito obiettivo la definizione di un processo che permetta di tradurre il design intent in requisiti per la definizione di specifiche caratteristiche geometriche di prodotto (da: ISO 17450-2:2012 [3]).

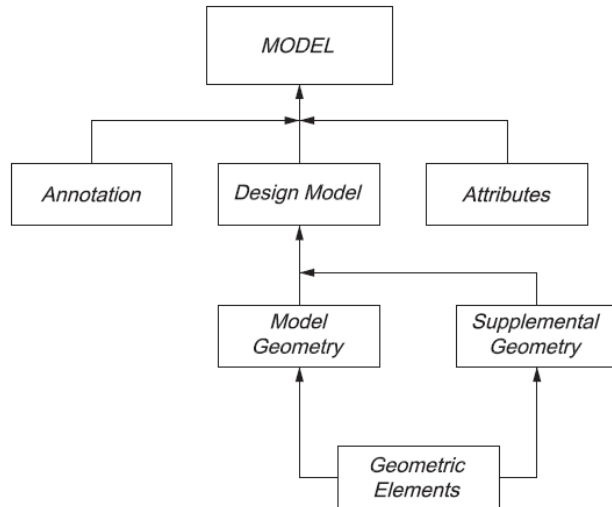
La norma ISO 129-1:2004 [4] richiama i concetti base della quotatura e, in particolare, rimarca il concetto di elemento dimensionale (o feature of size), a cui si correla la definizione di elemento di riferimento (datum), che sono concetti chiave nell'applicazione delle norme GPS. Le norme GPS prescrivono, infatti, l'indicazione delle tolleranze dimensionali e dei relativi accoppiamenti nelle norme ISO 286-1:2010 [5], ISO 286-2:2010 [6], ISO 14405-1:2010 [7] e ISO 14405-2:2011 [8], delle tolleranze geometriche nella norma ISO 1101:2012 [9] e dei relativi elementi di riferimento (o datum) nella ISO 5459:2011 [10]. A completamento di tali prescrizioni concorrono le tolleranze generali secondo le norme ISO 2768-1:1989 [11] e ISO 2768-2:1989 [12]. In particolare, la norma ISO 1101:2012 [7] affianca già alcune prescrizioni per disegni 2D con annotazioni destinate a modelli CAD 3D, oltre a ricorrere alla consueta rappresentazione 3D per disambiguare l'annotazione bidimensionale.

Ulteriori annotazioni possono essere prescritte alle viste bidimensionali tramite linea di richiamo, come previsto dalla norma ISO 128-22:1999 [13]. In tale norma vengono elencati anche i segni grafici complementari alle linee di richiamo per indicazione di stato superficiale (ISO 1302:2002 [14]), saldature (ISO 2553:2013 [15]), riferimenti e co-riferimenti (la già citata ISO 5459:2011 [10]), raccordi o smussi per tutti gli spigoli del pezzo (ISO 13715:2000 [16]), sbavature o sovrametallo in parti stampate e forgiate (ISO 10135:2007 [17]).

In questo contesto, si inserisce la norma ISO 16792:2006 "Technical product documentation - Digital product definition data practices" [18], che appartiene alla normativa Technical Product Documentation (TPD). La normativa TPD è tradizionalmente basata su rappresentazioni 2D ma, nei suoi ultimi sviluppi, guarda all'utilizzo di modelli CAD 3D: i modelli digitali 2D e 3D descrivono infatti la sola geometria nominale (forma e dimensioni) dei componenti, mentre le altre informazioni (es. stato superficiale, tolleranze dimensionali e geometriche, materiali, elementi unificati, etc.) non sono modellate ma sono riportate come annotazioni (Fig. 4).

La norma ISO 16792:2006 applica la normativa GPS (Geometrical Product Specifications). Nella ISO 17450-1:2011 [19], clause 5, la specificazione geometrica viene definita come "the design step where the field of permissible deviations of a set of characteristics of a workpiece is stated, accommodating the required functional performance of the workpiece (functional need)". La normativa GPS definisce quindi un linguaggio comune per esprimere e trasmettere i requisiti funzionali dei prodotti, allo scopo di garantirne la piena funzionalità, affidabilità e verificabilità.

Nello specifico, la norma ISO 16792:2006 - "Technical product documentation -- Digital product definition data practices" definisce i requisiti per la preparazione, revisione e presentazione del modello digitale e prescrive le informazioni non gestibili dal modello geometrico, ma necessarie per una TPD completa e utilizzabile per la gestione del ciclo di vita. Ogni modello digitale, che sia 2D o 3D, è quindi accompagnato da un data set di annotazioni ed attributi, che ne descrive le relative proprietà.



**Figura 4.** Flusso di attività della specificazione geometrica: dalla geometria nominale al modello 3D annotato (Fonte: [18])

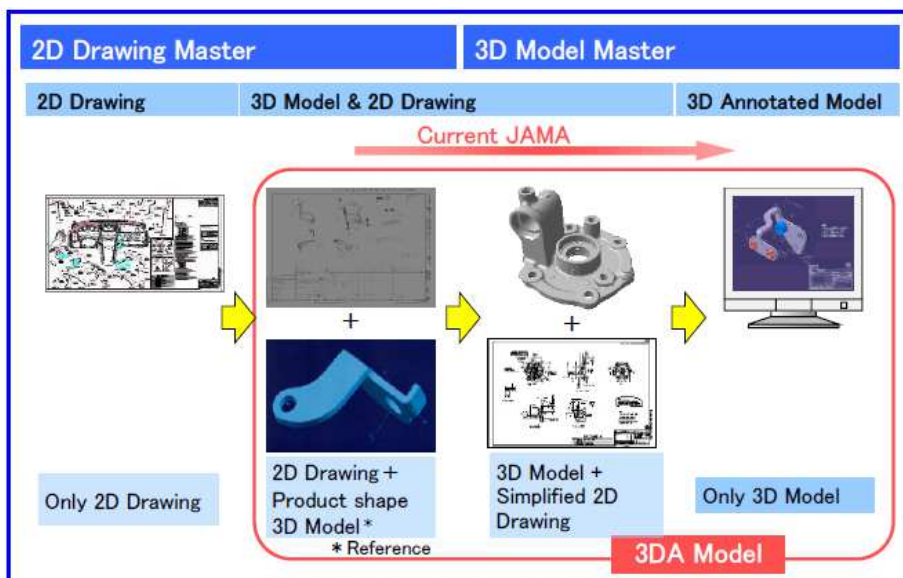
L'articolo è così strutturato: il paragrafo 2 raccoglie lo stato dell'arte e definisce gli obiettivi del presente studio; il paragrafo 3 propone il metodo applicato per l'analisi comparativa fra CAD 3D commerciali; il paragrafo 4 presenta i risultati ed, infine, il paragrafo 5 presenta la discussione e le conclusioni, evidenziando alcuni possibili sviluppi futuri.

## 2. STATO ARTE

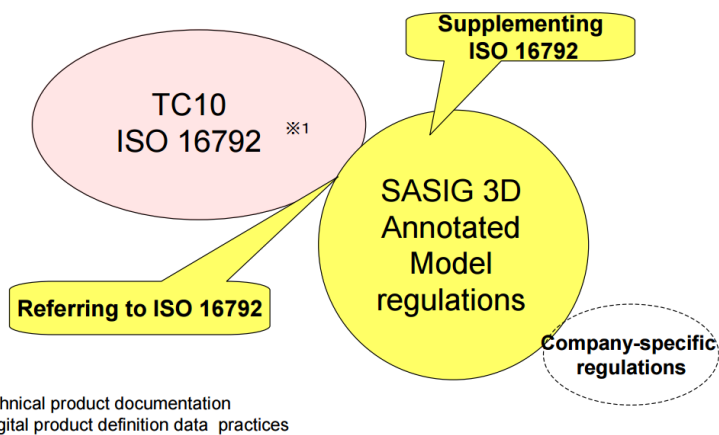
Il problema dell'integrazione delle annotazioni nel modello tridimensionale è affrontato in ambito industriale, scientifico ed accademico.

In ambito industriale, associazioni di settore automotive ed importanti realtà aziendale in ambito automotive ed aerospace, hanno definito normative interne per consentire ai progettisti di lavorare ed operare con lo stesso modello tridimensionale lungo tutte le fasi di progettazione. Un primo esempio è dato dall'Associazione giapponese dei costruttori di automobili JAMA (Japan Automobile Manufacturer's Association [20]), che promuove e diffonde normative specifiche per l'industria automobilistica al fine di individuare regole per le annotazioni 3D su modello CAD. A partire dal 2004 JAMA, insieme ad altri gruppi industriali di stampo internazionale, ha implementato, passando attraverso fasi ibride, una completa trasformazione della documentazione tecnica di prodotto da disegni bidimensionali a modelli tridimensionali (Fig. 5).

A partire dalla norma ISO 16792:2006, JAMA ha integrato con regole complementari il contenuto normativo sull'annotazione 3D, al fine di perfezionarne l'implementazione. A tal fine, una delegazione interna a JAMA, chiamato SASIG (Strategic Automotive product data Standards Industry Group) ha implementato una regolamentazione, denominata "SASIG 3D", capace di definire pratiche di annotazione tridimensionale, a partire dalla norma ISO 16792:2006 ed implementando tale norma all'interno delle regolamentazioni specifiche aziendali (Fig. 6).



**Figura 5.** Processo applicato da JAMA per il passaggio delle annotazioni da modello 2D a modello 3D (Fonte: [20]).



**Figura 6.** Implementazione della ISO 16792:2006 e delle regole SASIG 3D per l'annotazione 3D su CAD (Fonte: [20]).

In tal modo, è stato generato un elenco dei requisiti funzionali per ogni categoria indicata dalla norma ISO 16792:2006 (Sezioni e Viste, Annotazioni, etc.) secondo le norme di disegno 3D SASIG.



Ulteriori requisiti sono stati redatti per l'implementazione dei CAD viewer, che devono essere in grado di restituire correttamente le annotazioni 3D del modello due macro requisiti:

- nel primo requisito sono incluse le funzioni necessarie a riprodurre le informazioni CAD (attraverso 18 funzioni), con le raccomandazioni che la riproduzione delle informazioni di disegno 3D avvenga in modo certo e che le funzioni per la visualizzazione di disegni 3D siano di facile lettura;
- il secondo requisito specifica le funzioni necessarie per utilizzare le informazioni provenienti dal CAD, tra cui visualizzazione, commutazione, stampa, input/output dei file, misura, analisi delle interferenze, analisi di meccanismo, oltre ad una vasta gamma di altre funzioni (per un totale di 105 funzioni).

Tale lista è stata poi distribuita alle aziende venditrici di CAD tridimensionali, al fine di poter implementare le regole all'interno dei propri prodotti. Alcune aziende CAD hanno già aderito a tale normativa SASIG 3D, come UGS, Dassault Systemes, PTC, AutoDesk. Tuttavia, come ribadito da JAMA, non tutte le funzioni di annotazione 3D sono state ad oggi implementate. Pertanto è necessario un ulteriore sforzo di attivazione ed implementazione delle funzioni all'interno dei CAD, in modo da favorire l'applicazione delle annotazioni 3D così da ridurre i tempi di consegna e i costi, migliorare la qualità del prodotto e incrementare la globalizzazione.

Wernsten e Hanna (2012) [21] investigano sull'uso del 3D Functional Tolerancing and Annotations (FT&A) realizzate per mezzo di CATIA V5. In particolare vengono analizzate due aziende, la SAAB Aeronautics e la Volvo Auto. La prima usa il 3D CAD annotation in tutti i livelli di progettazione, nelle parti e nell'insieme; la seconda invece usa le annotazioni 3D nei componenti del Body-in-White. Le aziende suddette hanno riscontrato i seguenti vantaggi nell'applicazione del 3D annotation:

- Uno scambio di informazioni relativo ai requisiti di progetto in 3D già dalle prime fasi della progettazione incrementa l'integrazione e minimizza la possibilità di scoprire errori nelle fasi avanzate del progetto, quando modifiche significative provocano un incremento notevole dei costi.
- Lavorare con le annotazioni in 3D non appare una grossa sfida per i progettisti odierni, dal momento che lavorare con i disegni è simile ed il livello di maturazione nell'uso del 3D è elevato nei reparti di ricerca e sviluppo del gruppo Scania.
- I modelli 3D con annotazione sono più dinamici e hanno una maggiore integrazione in strumenti CAD/PLM odierni nonché negli strumenti software all'interno della produzione.
- Usando l'annotazione 3D, viene generata una base informativa comune, soppiantando la copresenza di due fonti informative attualmente utilizzate, quali modelli 3D e disegni CAD.
- La capacità di riutilizzare le informazioni da un modello 3D con annotazione è elevata, rispetto ai disegni 2D.

Anche in ambito scientifico non mancano gli studi relativi all'uso delle annotazioni 3D in ambito di progettazione. Numerosi sono i riferimenti bibliografici, ma tra essi si propongono i seguenti.

Ricci et al. [22] presentano un ambiente completo di annotazione 3D che permette l'associazione della tolleranza geometrica del componente direttamente al modello 3D. L'ambiente Product and Manufacturing Information (PMI), capace di raccogliere le informazioni relative al GD&T, viene analizzato e testato, come strumento finalizzato a

correlare ed integrare le fasi di progettazione e verifica, generalmente basate sulle informazioni raccolte in un disegno bidimensionale. In particolare, si analizzano le operazioni regolate dal PMI in modo da definire ciò che è completamente gestibile allo stato attuale ed individuare margini di miglioramento. Ad esempio, esplicitare l'orientamento da conferire ad una tolleranza di rettilinearità in funzione della vista in oggetto diventa fondamentale ed indispensabile in un ambiente tridimensionale, mentre appare ovvio ed inutile nell'ambiente 2D. L'analisi fornita, quindi, propone un confronto fra l'ambiente PMI ad oggi implementato in NX8, e quello desiderato mediante un caso studio. Le fasi di ispezione, attualmente gestite da uno strumento integrato ma aggiuntivo, BCT inspection, devono essere integrate all'interno del software, al fine di realizzare operazioni di ispezione a partire da dati correlati in modo associativo e parametrico integrati all'interno del modello 3D. Una completa parametricità ed associatività del modello 3D consente una rigenerazione delle parti aggiornando correttamente i dati relativi al modello compresi i dati relativi alle operazioni di ispezione.

In [23] si ribadisce come l'inserimento delle annotazioni 3D all'interno di componenti tridimensionali complessi ha come scopo l'espressione dell'intento progettuale, come dimensione geometrica e la tolleranza in modello integrato, le annotazioni vengono inserite nel 3D. l'applicazione delle annotazioni 3D viene effettuato sulla testata di un motore navale mediante l'impiego di software di modellazione 3D, NX (Siemens PLM software). Lo strumento Product and Manufacturing Information (PMI) viene implementato mediante istruzioni in linguaggio C++ in modo da integrare le informazioni relative alle annotazioni 3D utilizzando una simbologia intrinseca allo specifico CAD NX.

Ad oggi, come evidenziato in [24], i dati di tolleranza e quotatura sono poco diffusi in forma digitale nell'ambito del processo di progettazione, ma rimangono ancora definiti in forma cartacea e bidimensionale. Al contrario informazioni fondamentali potrebbero essere incluse nel modello tridimensionale CAD, in modo da essere disponibili nelle varie fasi di progetto, come ad esempio per definire i processi ed i parametri di fabbricazione come anche in fase di ispezione. Si ribadisce la necessità e l'impellenza di modificare l'approccio di progettazione introducendo modelli tridimensionali univoci, capaci di contenere informazioni per tutte le fasi di progettazione ed in grado di rispondere alle esigenze di rappresentazione delle tolleranze e dello stato di superficie.

In [25] viene presentata una valutazione di fattibilità con l'obiettivo di eliminare i disegni tecnici, considerando come casi studio disegni tecnici aerospaziali 2D ad ambienti 3D utilizzando Catia V5 R17 SP6. I risultati sperimentali mostrano che l'immissione di annotazioni sul CAD 3D è fattibile anche per disegni aerospaziali complessi, con una notevole riduzione dei costi e del time to market ed un incremento nella qualità. Aziende attive in questo contesto sono Boeing e EADS per l'aeronautica, Honda e Toyota F1 per l'automotive. L'implementazione dell'approccio 3D CAD è particolarmente avanzato nel caso di Dassault Systemes. Tre obiettivi sono stati analizzati:

- Valutare la capacità del CAD Catia V5 R17 SP6 di soddisfare le richieste della norma di riferimento ASME Y14.41-2003,
- Valutare una corrispondenza fra la normativa che regola le tolleranze e la pratica industriale,
- Verificare la capacità di chiarezza di espressione delle informazioni introdotte nelle annotazioni 3D all'interno di Catia V5 R17 SP6.

In particolare sono state evidenziate tre categorie di annotazioni: quelle facilmente traducibili dal disegno 2D in annotazioni 3D; quelle parzialmente traducibili, ovvero con

l'aggiunta di schizzi o elementi geometrici; infine quelle annotazioni non traducibili. Dall'esame dei risultati si evince che su quasi 3000 annotazioni, solo 8 rientrano nella seconda o terza categoria. Pertanto il passaggio dal disegno CAD 2D al 3D completo di annotazioni appare un processo raggiungibile anche in ambienti ingegneristici complessi quali l'aeronautica e l'automotive, in cui numerosi particolari devono essere gestiti nella realizzazione di assiemi complessi.

In [26] si discute l'introduzione delle annotazioni 3D nel CAD, considerando il fatto che la normativa ISO ha preso in carica la gestione delle informazioni sulla documentazione tecnica di prodotto realizzata mediante strumenti CAD 3D. L'analisi, effettuata su software CAD SolidEdge ST5, ha evidenziato l'impossibilità di:

1. utilizzare le classiche caselle di orientazione previste dalla normativa nella descrizione di un modello 3D,
2. associare a ciascuna annotazione un particolare piano di riferimento,
3. aggiungere ad una quota una casella di tolleranza senza doversi servire ogni volta di una annotazione creata con leader line,
4. aggiungere una tolleranza comune per più features uguali,
5. utilizzare delle quote teoricamente esatte (TED - Theoretically Exact Dimensions), racchiuse all'interno di caselle quadrate, mentre il modellatore attuale permette di utilizzare caselle ovali.

### **Definizione del problema e obiettivi**

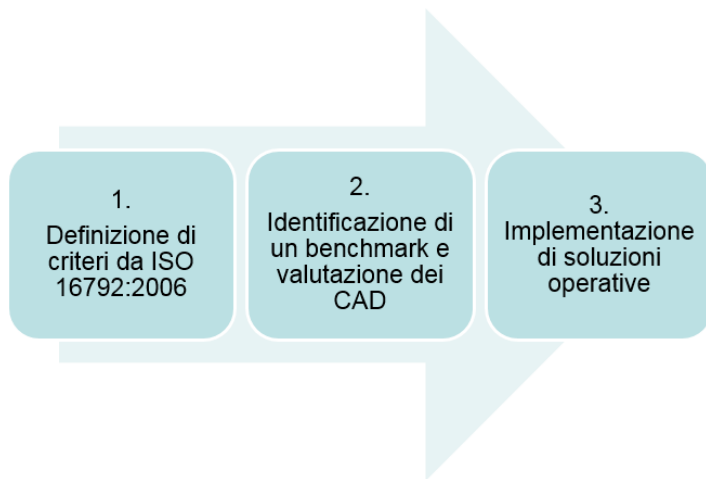
Il presente stato dell'arte evidenzia, da un lato, le difficoltà tutt'oggi esistenti nella completa implementazione dell'annotazione 3D nei software CAD 3D commerciali analizzati e, dall'altro lato, una tendenza del settore industriale ad implementare in modo non univoco la norma ISO 16792:2006, ricorrendo a norme interne o ad interpretazioni normative alternative. Dal punto di vista commerciale, sotto la spinta dei settori automotive ed aerospace, i CAD di fascia alta si sono fatti promotori di innovazione in ambito di annotazione 3D e, spesso, operano in modo indipendente dalla normativa. I CAD dedicati all'indotto di secondo livello (definiti di "fascia media"), "seguono" tale innovazione e la recepiscono parzialmente. Ciò evidenzia esplicitamente il gap operativo (sfasamento) tra la definizione della normativa che regola la specificazione geometrica di prodotto su CAD 3D e la relativa implementazione in ambiente CAD.

Nello specifico, il presente studio si pone l'obiettivo di investigare in modo sistematico l'implementazione dei contenuti della norma ISO 16792:2006 in alcuni dei principali CAD 3D commerciali. I singoli CAD verranno comparati da un punto di vista applicativo per evidenziare eventuali gap operativi, determinare il grado di recepimento della norma raggiunto ed identificare possibili soluzioni per l'annotazione 3D, volte a permettere il raggiungimento di un livello comune di applicabilità della norma stessa e di leggibilità della documentazione tecnica 3D generata.

### **3. METODO**

Il metodo applicato per la definizione 3D di prodotto consiste di 3 passi (Fig. 7):

- Definizione di criteri di valutazione redatti su base normativa,
- Identificazione di un benchmark per l'analisi comparativa dei CAD 3D commerciali,
- Definizione ed implementazione di soluzioni operative alla luce dei gap evidenziati.



**Figura 7.** Fasi del metodo applicato per la comparazione di CAD 3D commerciali.

Il primo passo è basato sull'analisi della norma ISO 16792:2006. Al fine di confrontare il comportamento dei CAD 3D in esame dal punto di vista della capacità esplicativa delle annotazioni 3D, si definiscono alcuni criteri di valutazione, redatti a partire dalla norma ISO 16792:2006, che descrivono le caratteristiche che devono essere garantite in un modello annotato tridimensionalmente. In dettaglio, i criteri di valutazione redatti su base normativa indagano:

- Le possibilità (criteri) di interrogazione (query) del modello 3D,
- L'associatività fra annotazioni, feature e geometria del modello 3D,
- L'inserimento di annotazioni, attributi, geometrie supplementari, note generali, etc.,
- La leggibilità di quote ed annotazioni (verso di lettura, sovrapposizione fra elementi, etc.),
- La creazione di piani di annotazione e di viste di annotazione (viste e sezioni),
- L'inserimento di tolleranze geometriche e dei relativi riferimenti, riferimenti parziali, quote teoricamente esatte (TED),
- La rappresentazione semplificata di feature,
- Il raggruppamento di feature.

I criteri descritti nella norma indagano anche aspetti legati al disegno costruttivo, non considerati in questa sede. I criteri di interesse vengono quindi riorganizzati in tre macro categorie, al fine di contestualizzare al meglio le problematiche che vanno ad analizzare. Ne consegue la classificazione in criteri di carattere generale, relativi alla proprietà di associatività tra valori del modello, feature del modello ed annotazioni (Tab. 1); criteri applicabili al solo modello 3D (Tab. 2) e criteri relativi alla gestione delle viste del modello 3D (Tab. 3).

**Tabella 1.** Criteri descritti dalla norma ISO 16792:2006 di carattere generale, relativi alla proprietà di associatività tra valori del modello, features del modello ed annotazioni.

|           |  |
|-----------|--|
| <b>1</b>  | I valori dimensionali devono essere ottenuti direttamente dal modello  |
| <b>2</b>  | I valori dimensionali si devono poter arrotondare secondo norma  |
| <b>3</b>  | Deve essere possibile interrogare il modello e garantire l'associatività tra gli elementi:   |
| 3.1       | Valori del modello   |
| 3.2       | Relazioni tra modello geometrico e annotazioni e viceversa   |
| 3.3       | Identificativi digitali degli elementi (part name, ID, label, colour, ...)   |
| 3.4       | Relazione fra geometria e features del modello   |
| 3.5       | Tolleranze e indicatori dei riferimenti (completi e parziali)  |
| 3.6       | Geometria supplementare distinguibile ed evidenziata   |
| 3.7       | Identificazione degli elementi associati in un gruppo (pattern,...)  |
| <b>4</b>  | Tutte le quote angolari devono poter essere interrogati dal modello  |
| <b>5</b>  | Se si ha la necessità di inserire un'annotazione ad un modello, quest'ultima potrà essere presente anche nel disegno sotto le note generali  |
| <b>6</b>  | Quando si applicano delle tolleranze alle features, l'allineamento del piano di annotazione con l'esatto profilo nominale o teorico del modello non è richiesto  |
| <b>7</b>  | Le informazioni ottenute dalle features del modello che non presentano tolleranze o alle quali non è assegnato nessun datum si possono rappresentare specificando delle dimensioni ausiliarie              |
| <b>8</b>  | Vengono applicate le ISO 3098-0 e ISO 3098-5, che si occupano delle richieste di leggibilità, quando l'annotazione è letta/vista perpendicolarmente al piano di annotazione (su cui è posta l'annotazione) |
| <b>9</b>  | L'annotazione non deve essere sovrapposta ad altre annotazioni quando il modello è letta/vista perpendicolarmente al piano di annotazione (su cui è posta l'annotazione)                                   |
| <b>10</b> | Il testo non deve essere sovrapposto al modello stesso quando il modello è letto/visto perpendicolarmente al piano di annotazione (su cui è posta l'annotazione)   |

**Tabella 2.** Criteri descritti dalla norma ISO 16792:2006 riferiti al modello 3D.

|           |   |
|-----------|---|
| <b>11</b> | Tutte le annotazioni devono essere specificate in uno o più piani di annotazione. Nei casi in cui il CAD software non supporta la gestione e l'orientamento del piano di annotazione relativa al modello, allora i metodi applicabili solo al modello non possono essere utilizzati |
| <b>12</b> | I valori dimensionali arrotondati ricavati dalla geometria del modello sono considerate le medesime informazioni visualizzate a display   |
| <b>13</b> | Per garantire che l'annotazione sia leggibile, il testo può essere visualizzato sempre o sopra o sotto al modello anche nel caso di rotazione di quest'ultimo. A tal proposito si possono utilizzare tre diverse tecniche:  |
| 13.1      | Garantire che dopo aver ruotato il modello la visualizzazione dell'annotazione sia sempre aggiornata  |
| 13.2      | Si deve includere un sistema per determinare la corretta direzione di lettura, per ogni piano di annotazione  |
| 13.3      | Quando utilizzo delle viste salvate in precedenza, devo garantire che il modello sia orientato nella direzione di vista voluta  |
| <b>14</b> | Annotazioni relative a features interne (scavi) possono essere visualizzate anche senza   |

|           |  |
|-----------|--|
|           | l'ausilio di viste in sezione  |
| <b>15</b> | Sistema di coordinate del modello: il modello deve poter contenere più di un sistema di riferimento  |
| <b>16</b> | Applicazione delle geometrie supplementari: distinzione fra geometrie supplementari e geometrie del modello:   |
| 16.1      | Utilizzo di linee per l'indicazione di direzione nell'indicazione delle tolleranze geometriche   |
| 16.2      | Raggruppamento di linee di indicazione, riquadro di tolleranza, e feature tollerata  |
| <b>17</b> | Feature tecnologiche quali fori filettati, etc. possono essere non modellate ma rappresentate in modo semplificato (annotazioni, attributi, convenzioni geometriche) |

**Tabella 3.** Criteri descritti dalla norma ISO 16792:2006 relativi alla gestione delle viste del modello.

|           |  |
|-----------|--|
| <b>18</b> | Viste salvate: per facilitare la comprensione del modello, è necessario creare diverse viste a cui applicare le differenti annotazioni. Contiene un sistema di riferimento e uno o più piani di annotazione, un set di annotazioni e/o un set di geometrie |
| <b>19</b> | Sezioni: le viste salvate possono contenere sezioni:   |
| 19.1      | Il piano di sezione può essere esplicitato. I bordi possono essere in linea continua o tratto punto. Freccie devono indicare il verso di taglio e lettere maiuscole identificano i piani   |
| 19.2      | La parte in sezione può essere mostrata rimuovendo la geometria non di interesse o mostrando l'intersezione tra piano e modello  |
| 19.3      | Si possono utilizzare piani paralleli  |
| 19.4      | Non si possono utilizzare sezioni ribaltate in loco, sezioni concorrenti, sezioni in vicinanza   |
| 19.5      | Sezioni parziali dovrebbero essere secondo norma   |
| 19.6      | Feature di scorcio non possono essere utilizzate   |
| 19.7      | Update della vista in sezione in caso di modifiche al modello  |

Il secondo passo riguarda l'identificazione di un benchmark industriale caratterizzato dall'esigenza di annotazione 3D così come previsto dalla norma ISO 16792:2006, per l'analisi comparativa di CAD 3D commerciali, mediante l'applicazione dei criteri sopra definiti. Il benchmark identificato è un montante per telaio automobilistico di derivazione Ferrari SpA che, per la presenza di alcune feature morfologiche (tagli e smussi inclinati rispetto all'asse longitudinale), di tolleranze dimensionali e geometriche e dei relativi (numerosi) riferimenti, necessita di un ampio set di annotazioni 3D.

I CAD 3D commerciali vengono selezionati fra quelli attualmente utilizzati nelle industrie, in modo da indagare il grado di completezza raggiunto in termini di definizione 3D di prodotto. Il modello 3D viene quindi modellato mediante ciascuno dei CAD da analizzare e contemporaneamente corredato delle annotazioni GPS previste.

In base alla capacità del software CAD di rispondere ai requisiti di annotazione 3D, viene espressa una valutazione per mezzo di tre stati, a cui corrisponde un segnale in codice colore (Tab. 4). È opportuno precisare che l'assegnazione di un codice colore arancione, che corrisponde alla parziale realizzabilità dei requisiti precedentemente espressi, è determinato sia dalla parziale capacità del CAD di completare l'annotazione mediante operazione (comando) dedicata sia dalla necessità di combinare più operazioni non dedicate per soddisfare l'azione/criterio.

**Tabella 4.** Giudizi e relativi codici colori.

| <b>Valutazione di azione/criterio</b>            | <b>Tipo di segnale in codice colore</b> | <b>Punteggio</b> |
|--|---|------------------|
| Azione completamente realizzabile sul modello 3D | Segnale di colore verde                 | 1                |
| Azione parzialmente realizzabile sul modello 3D  | Segnale di colore arancione             | 0,5              |
| Azione non realizzabile sul modello 3D           | Segnale di colore rosso                 | 0                |

L'esecuzione di ogni set di azioni termina con una fase di valutazione, in cui ad ogni CAD analizzato è associato un punteggio per ciascun sottogruppo di criteri. Il punteggio permette di quantificare il gap applicativo evidenziato.

Nella terza fase di definizione ed implementazione di soluzioni operative, a partire dai gap evidenziati, si propongono azioni migliorative in modo da uniformare il ciclo di annotazione 3D nei vari CAD analizzati. Le azioni potranno essere condivise ai vari CAD oppure mirate ad interventi rivolti ai singoli CAD.

#### **4. RISULTATI**

Ai fini dell'applicazione del metodo, si sono selezionati tre software CAD commerciali capaci di introdurre le annotazioni nel modello 3D per mezzo di strumenti integrati o applicazioni correlate: tali software sono scelti perché impiegati nelle aziende automotive e nel relativo indotto di secondo livello.

In dettaglio, il modello 3D del montante è implementato con:

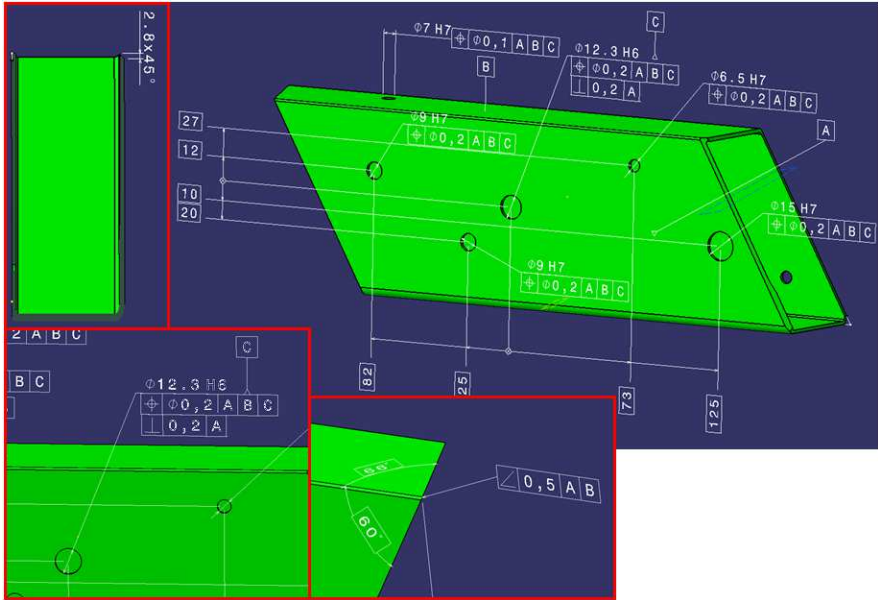
- Catia V5 R25 (Dassault Systemes) e corredato di annotazioni 3D mediante lo strumento integrato FT&A (Functional Tolerancing & Annotation), in Fig. 8,
- SolidEdge ST7 (Siemens PLM software) e corredato di annotazioni 3D mediante lo strumento integrato PMI (Product and Manufacturing Information), in Fig. 9,
- SolidWorks 2014 (Dassault Systemes) e corredato di annotazioni 3D mediante lo strumento DimXpert, in Fig. 10.

Durante la fase di modellazione e di annotazione 3D mediante ciascun CAD, il software viene valutato sulla capacità di rispondere ai requisiti presentati in Tab. 1-3 mediante l'attribuzione di un giudizio così come descritto nella precedente Tab. 4. I singoli giudizi, espressi tramite codice colore, vengono raccolti in Tab. 5-7, che li raggruppano sulla base delle tre macroaree di appartenenza dei requisiti.

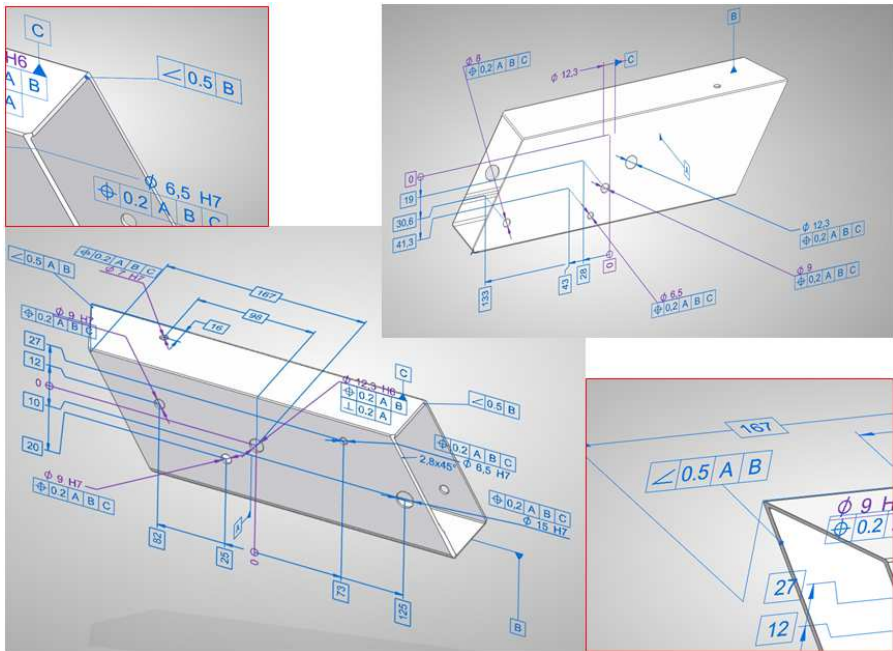
La Tab. 5 presenta i giudizi espressi sulla risposta dei CAD in merito ai criteri relativi all'associatività tra le features del modello CAD e le annotazioni 3D. Catia V5 R25 (Dassault Systemes) appare il più consono a soddisfare i criteri relativi a questa prima macroarea.

La Tab. 6 presenta i giudizi espressi sulla risposta dei CAD in merito ai criteri applicabili puramente al modello 3D. Senza particolari evidenze, si evince che tutti e tre i software CAD esaminati rispondono quasi equamente ai criteri relativi alla seconda macroarea.

La Tab. 7 presenta i giudizi espressi sulla risposta dei CAD in merito ai criteri relativi alla gestione delle viste del modello 3D.



**Figura 8.** Implementazione di modello 3D ed annotazioni in CATIA V5-R25 (Dassault Systemes) con FT&A.



**Figura 9.** Implementazione di modello 3D ed annotazioni in SolidEdge ST7 (Siemens PLM software) con PMI.





**Tabella 6.** Criteri applicabili al solo modello con giudizio parziale.

|      | <b>Criteri applicabili al solo modello 3D</b>   | <b>CATIA</b> | <b>SE-ST</b> | <b>SW</b> |
|------|---|--------------|--------------|-----------|
| 11   | Tutte le annotazioni devono essere specificate in uno o più piani di annotazione. Nei casi in cui il CAD software non supporta la gestione e l'orientamento del piano di annotazione relativa al modello, allora i metodi applicabili solo al modello non possono essere utilizzati | ✓            | ✓            | ✓         |
| 12   | I valori dimensionali arrotondati ricavati dalla geometria del modello sono considerate le medesime informazioni visualizzate a display   | ✓            | ✓            | ✓         |
| 13   | Per garantire che l'annotazione sia leggibile, il testo può essere visualizzato sempre o sopra o sotto al modello anche nel caso di rotazione di quest'ultimo. A tal proposito si possono utilizzare tre diverse tecniche:  | ✓            | ✓            | ✓         |
| 13.1 | Garantire che dopo aver ruotato il modello la visualizzazione dell'annotazione sia sempre aggiornata  |              | *            | *         |
| 13.2 | Si deve includere un sistema per determinare la corretta direzione di lettura, per ogni piano di annotazione  |              |              |           |
| 13.3 | Quando utilizzo delle viste salvate in precedenza, devo garantire che il modello sia orientato nella direzione di vista voluta  | *            | *            | *         |
| 14   | Annotazioni relative a features interne (scavi) possono essere visualizzate anche senza l'ausilio di viste in sezione   | ✓            | ✓            | ✓         |
| 15   | Sistema di coordinate del modello: il modello deve poter contenere più di un sistema di riferimento   | ✓            | ✓            | ✓         |
| 16   | Applicazione delle geometrie supplementari: distinzione fra geometrie supplementari e geometrie del modello:  |              |              |           |
| 16.1 | Utilizzo di linee per l'indicazione di direzione nell'indicazione delle tolleranze geometriche  | ✓            | ✓            | ✗         |
| 16.2 | Raggruppamento di linee di indicazione, riquadro di tolleranza, e feature tollerata   | ✗            | ✗            | ✗         |
| 17   | Feature tecnologiche quali fori filettati, etc. possono essere non modellate ma rappresentate in modo semplificato (annotazioni, attributi, convenzioni geometriche)  | ✗            | ✗            | ✗         |
|      | <b>Giudizio parziale sulla seconda macroarea</b>  | <b>6</b>     | <b>6</b>     | <b>5</b>  |

**Tabella 7.** Criteri applicabili alla gestione delle viste del modello con giudizio parziale e giudizio totale delle macroaree.

|      | <b>Gestione delle viste del modello</b>  | <b>CATIA</b> | <b>SE-ST</b> | <b>SW</b>   |
|------|--|--------------|--------------|-------------|
| 18   | Viste salvate: per facilitare la comprensione del modello, è necessario creare diverse viste a cui applicare le differenti annotazioni. Contiene un sistema di riferimento e uno o più piani di annotazione, un set di annotazioni e/o un set di geometrie | ✓            | ✓            | ✓           |
| 19   | Sezioni: le viste salvate possono contenere sezioni:   |              |              |             |
| 19.1 | Il piano di sezione può essere esplicitato. I bordi possono essere in linea continua o tratto punto. Freccie devono indicare il verso di taglio e lettere maiuscole identificano i piani   | !            | !            | !           |
| 19.2 | La parte in sezione può essere mostrata rimuovendo la geometria non di interesse o mostrando l'intersezione tra piano e modello  | !            | !            | !           |
| 19.3 | Si possono utilizzare piani paralleli  | ✓            | ✗            | ✗           |
| 19.4 | Non si possono utilizzare sezioni ribaltate in loco, sezioni concorrenti, sezioni in vicinanza   |              |              |             |
| 19.5 | Sezioni parziali dovrebbero essere secondo norma   | ✗            | ✗            | ✗           |
| 19.6 | Feature di scorcio non possono essere utilizzate   |              |              |             |
| 19.7 | Update della vista in sezione in caso di modifiche al modello  | ✓            | ✓            | ✓           |
|      | <b>Giudizio parziale sulla terza macroarea</b>   | <b>4</b>     | <b>3</b>     | <b>3</b>    |
|      | <b>Giudizio globale sulle tre macroaree di criteri</b>   | <b>23,5</b>  | <b>21,5</b>  | <b>19,5</b> |

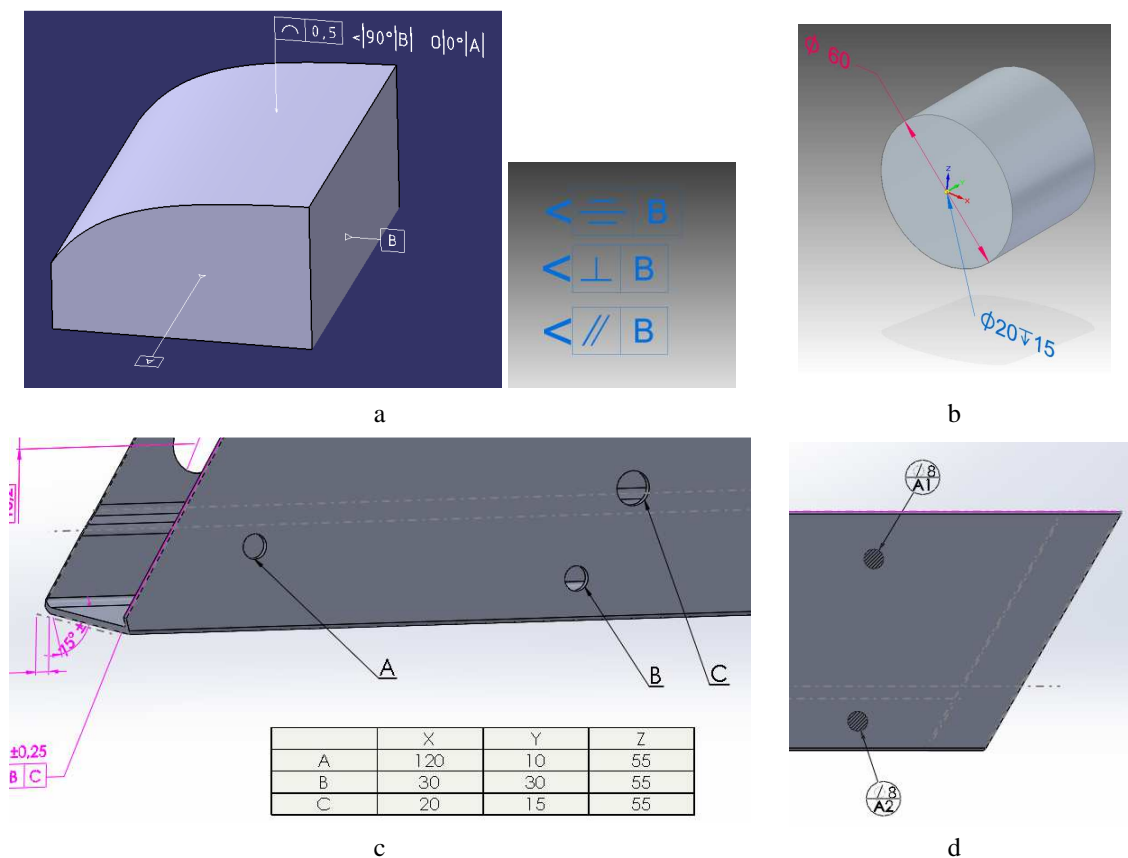
Da Tab. 7, in particolare, si nota come il software di Catia V5 R25 (Dassault Systemes) sia particolarmente maturo nella gestione e manipolazione delle viste del modello. L'aspetto fondamentale è la capacità di Catia V5 R25 di mostrare solamente le annotazioni correlate a ciascuna vista 2D creata, evitando di infittire tutto il modello 3D con eccessive annotazioni. Il modello 3D risulta quindi completamente annotato se comunque orientato nello spazio, mentre le singole viste predefinite dal progettista sono corredate dalle sole annotazioni ad esse relative. Questo aspetto è particolarmente apprezzato a livello industriale, dove gli operatori necessitano di utilizzare il modello 3D organizzandolo in viste bidimensionali, per realizzare particolari processi di fabbricazione.

La Tab. 7 riporta infine il giudizio globale sulle tre macroaree. A partire dai criteri parzialmente soddisfatti o non soddisfatti in Catia V5 R25 (Dassault Systemes), SolidEdge

ST7 (Siemens PLM software) e in SolidWorks 2014 (Dassault Systemes), si procede quindi ad identificare le azioni necessarie per rendere attuabili le annotazioni 3D in corrispondenza delle lacune evidenziate.

Le azioni di seguito elencate permettono di integrare e/o compensare alcuni dei gap evidenziati dall'applicazione del metodo mediante l'utilizzo di comandi CAD non specificatamente pensati per tali applicazioni, ma comunque disponibili per la caratterizzazione dei modelli:

- In tutti e tre i software, a livello di simbologia aggiuntiva per i riferimenti (i.e. piani di intersezione, orientazione, etc.), le annotazioni possono essere integrate tramite note di testo che combinano opportunamente caratteri alfanumerici o simboli standard (Fig. 11-a).
- In tutti e tre i software, a livello di annotazione per fori semplificati (i.e. fori non modellati ma semplicemente descritti tramite annotazione), le annotazioni possono essere applicate mediante note di testo che combinano simbologia ANSI laddove ammissibile (Fig. 11-b).



**Figura 11.** Integrazione delle annotazioni 3D nei software CAD analizzati.

- In SolidEdge ST7 (Siemens PLM software) e in SolidWorks 2014 (Dassault Systemes), le quote in coordinate possono essere assegnate agli elementi da quotare nel modello mediante combinazione del comando “tabella” e del comando “note”, in modo da realizzare un sistema di quotatura che specifica le coordinate X, Y, Z degli elementi del modello (Fig. 11-c).
- In SolidWorks 2014 (Dassault Systemes), i riferimenti parziali (datum target) per le tolleranze geometriche possono essere inseriti tramite integrazione di diversi ambienti di modellazione (es. tramite bollature sviluppate per identificare le parti negli assiemi e qui applicate ad elementi di una stessa parte, Fig. 11-d).

## 5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati presentati mostrano il grado di recepimento della norma ISO 16792:2006 nei tre software CAD 3D commerciali comparati, Catia V5 R25 (Dassault Systemes), SolidEdge ST7 (Siemens PLM software) e SolidWorks 2014 (Dassault Systemes).

Dall’analisi dei risultati numerici in Tab. 5, 6 e 7, ed in particolare dal punteggio totale assegnato ad ogni CAD comparato e mostrato in Tab. 7, è possibile valutare il grado di implementazione della norma. Si evidenzia che la piena capacità di un software CAD di rispondere ai criteri di valutazione qui redatti corrisponde ad un punteggio pari a 30. Emerge che i punteggi ottenuti dai singoli CAD, seppur distanti dal punteggio massimo, cioè dalla massima capacità di implementazione della norma, sono comunque positivi. Catia V5 R25 (Dassault Systemes) risulta in grado di rispondere (completamente o parzialmente) alla maggior parte dei requisiti per la gestione delle annotazioni 3D secondo normativa, così come prevedibile in base alla fascia di mercato occupata ed al settore industriale di principale applicazione. SolidEdge ST7 (Siemens PLM software) e SolidWorks 2014 (Dassault Systemes) presentano una minor capacità di implementare alcuni requisiti, pur rispondendo positivamente alla maggior parte dei criteri, così come dimostra la piccola differenza riscontrata nel punteggio assegnato. Da questo studio, emerge quindi una buona capacità di implementazione della norma ISO 16792:2006 nei tre CAD comparati, seppur con alcune lacune quali la non completa disponibilità di simbologia secondo normativa o la gestione delle viste nei modelli 3D.

I criteri redatti sulla base della norma ISO 16792:2006 ed applicati per la comparazione dei software CAD si dimostrano in grado di condurre una completa valutazione del recepimento normativo, pur non comprendendo alcune esigenze industriali non contemplate nella norma ISO stessa.

Il benchmark industriale identificato, di provenienza automotive, è caratterizzato da un set di annotazioni ampio e rappresentativo della norma ISO 16792:2006: il modello digitale 3D sviluppato nei tre software CAD 3D analizzati ha permesso di valutare in modo efficace i software sulla base dei criteri redatti. La comparazione è avvenuta sulla capacità di inserire le principali annotazioni prescritte dalla normativa GPS quali quote (lineari, angolari, di base, in coordinate, etc.), tolleranze dimensionali e geometriche, riferimenti (datum), note per forature. Le annotazioni richieste dal presente benchmark non hanno tuttavia spaziato in tutti gli ambiti normativi richiamati all’interno della ISO 16792:2006 (ad es. le saldature), per cui il metodo potrebbe essere nuovamente applicato identificando benchmark differenti e specificatamente caratterizzati dalle prescrizioni di interesse.

I giudizi di valutazione formulati si sono dimostrati capaci di quantificare anche gli aspetti più “qualitativi” del confronto, mediante l’assegnazione di valutazioni che non

considerano solo la capacità di implementare un requisito con modalità on/off, ma anche la modalità di risposta al requisito stesso.

All'analisi ed alla comparazione dei CAD, è infine seguita l'implementazione di alcune azioni correttive volte a garantire il raggiungimento di un livello comune di applicabilità della norma stessa nonché di leggibilità della documentazione tecnica 3D così generata. Le azioni correttive si sono limitate all'impiego di comandi e simbologie già presenti in ciascun CAD, per cercare di implementare le annotazioni 3D che non dispongono di comandi dedicati. In questo studio non si è quindi ricorso all'utilizzo di linguaggi di programmazione per cercare di implementare nuovi comandi laddove non presenti: tale ulteriore passo sarà oggetto di specifici sviluppi futuri. In aggiunta, è in fase di sviluppo un sistema basato su macro a supporto del processo di annotazione 3D per guidare il progettista nell'assegnazione di tolleranze, nell'utilizzo di piani di annotazione, etc. con la finalità di limitarne le possibilità di errore.

Più in generale, lo studio ha permesso di identificare i criteri di buona pratica per l'implementazione delle annotazioni 3D. I CAD 3D ricorrono ad oggi ad applicativi dedicati che, almeno in parte, implementano le nuove tecniche di annotazione 3D: questi applicativi specifici (FT&A, PMI, DimXpert) permettono di controllare il processo di quotatura, l'inserimento di tolleranze e riferimenti, etc. in modo integrato direttamente nell'ambiente di modellazione 3D. Il progettista può quindi modellare un componente e, nello stesso ambiente CAD ed allo stesso momento, assegnare le annotazioni funzionali di progetto. Durante la fase di transizione da 2D a 3D, già in essere in diverse realtà industriali, le annotazioni possono essere gestite ed assegnate in 3D e successivamente importate automaticamente nei drawing bidimensionali. In questo modo, il disegno diventa una semplice operazione formale, poiché tutto il contenuto "progettuale" è concentrato nella prima fase di modellazione 3D e deve quindi essere semplicemente richiamato in fase di messa in tavola.

In ultimo luogo, il modello 3D -che per natura è intrinsecamente più leggibile di un disegno 2D- può essere inoltre interrogato dall'utente. Anche se non tutti gli applicativi analizzati hanno raggiunto un equivalente livello in tale ambito, la tendenza comune mostrata è quella di permettere al progettista o all'operatore di interrogare il modello 3D: è possibile controllare se tutte le feature sono state completamente definite, se sono presenti feature tecnologiche (che vengono "riconosciute" automaticamente dal software), quali feature del modello presentano le stesse caratteristiche (es. se clicco sull'annotazione "6 x R6" si evidenziano tutti i raccordi omologhi nel modello 3D).

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia Ferrari SpA e l'Ing. Patrizio Moruzzi per il supporto tecnico alle attività.

## **REFERENCES**

- [1] Mandorli F., 2014. "Modellazione esplicita: non solo facilità di modifica". Il Progettista industriale, **5**, pp. 30-34.
- [2] Bonazzi, E., 2015. "Development of a design methodology for 3D tolerance stacks calculation in top class car assembly". Tesi di Dottorato, Università di Modena e Reggio Emilia, Italia, Marzo.
- [3] ISO 17450-2:2012. Geometrical product specifications (GPS) -- General concepts. Basic tenets, specifications, operators, uncertainties and ambiguities.

- [4] ISO 129-1:2004. Technical drawings -- Indication of dimensions and tolerances. General principles.
- [5] ISO 286-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) -- ISO code system for tolerances on linear sizes Basis of tolerances, deviations and fits.
- [6] ISO 286-2:2010. Geometrical product specifications (GPS) -- ISO code system for tolerances on linear sizes Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts.
- [7] ISO 14405-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) -- Dimensional tolerancing. Linear sizes.
- [8] ISO 14405-2:2011. Geometrical product specifications (GPS) -- Dimensional tolerancing. Dimensions other than linear sizes.
- [9] ISO 1101:2012. Geometrical product specifications (GPS) -- Geometrical tolerancing -- Tolerances of form, orientation, location and run-out.
- [10] ISO 5459:2011. Geometrical product specifications (GPS) -- Geometrical tolerancing -- Datums and datum systems.
- [11] ISO 2768-1:1989. General tolerances Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications
- [12] ISO 2768-2:1989. General tolerances Geometrical tolerances for features without individual tolerance indications
- [13] ISO 128-22:1999. Technical drawings -- General principles of presentation Basic conventions and applications for leader lines and reference lines.
- [14] ISO 1302:2002. Geometrical Product Specifications (GPS) -- Indication of surface texture in technical product documentation.
- [15] ISO 2553:2013. Welding and allied processes -- Symbolic representation on drawings -- Welded joints.
- [16] ISO 13715:2000. Technical drawings -- Edges of undefined shape -- Vocabulary and indications.
- [17] ISO 10135:2007. Geometrical product specifications (GPS) -- Drawing indications for moulded parts in technical product documentation (TPD).
- [18] ISO 16792:2006. Technical product documentation -- Digital product definition data practices.
- [19] ISO 17450-1:2011. Geometrical product specifications (GPS) -- General concepts. Model for geometrical specification and verification.
- [20] Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA), Inc., 2015. New Proposal for ISO/TC10/SC6 - Proposal for DTPD ISO Development. Electronic Information System Committee, Digital Engineering Sectional meeting, DE Working Party 3D Drawing JIS Development Task, May, 19.
- [21] Wernsten, T. and Hanna, S., 2012. "Informationshantering med kravsättning i 3D-baserade arbetsflöden". Master Thesis. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology Industriell teknik och management.
- [22] Ricci, F., Bedolla, J.S., Gomez, J.M., and Chiabert, P., 2014. "PMI: a PLM Approach for the Management of Geometrical and Dimensional Controls in Modern Industries". Computer-Aided Design and Applications, **11**, pp. 36-43.

- [23] Zhang, H., Yang, G., and Zhang, S.-W., 2014. "Research on integration of 3D digital definition for marine diesel engine parts". *Advances in Intelligent Systems and Computing*, **279**, pp. 937-945.
- [24] Tanaka, F., 2011. "Current situation and problems for representation of tolerance and surface texture in 3D CAD model". *International Journal of Automation Technology*, **5** (2), pp. 201-205.
- [25] Venne, F., Rivest, L., and Desrochers, A., 2010. "Assessment of 3D annotation tools as a substitute for 2D traditional engineering drawings in aerospace product development". *Computer-Aided Design and Applications*, **7** (4), pp. 547-563.
- [26] Maistro, A.M., 2013. "Evoluzione della normativa per la gestione delle annotazioni nei modelli CAD 3D". Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova, Italia.