

ARCHITETTURA E INGEGNERIA

Sistemi di classificazione dei costi nei progetti di architettura e di ingegneria civile

► di Giampiero Brioni

Architetto e Ingegnere, Direttore operativo della Società di Ingegneria B&B Progetti di Milano, esperto certificato in Ingegneria Economica, BIM Manager certificato, membro della Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), svolge attività di Cost Manager, Project Manager e Progettista

Lo sviluppo di un progetto richiede azioni che, per garantire il conseguimento dell'obiettivo, devono essere sostenute dalla soluzione di significative problematiche gestionali che vedono nello scambio e nella condivisione delle informazioni tra i diversi attori del progetto uno degli aspetti principali. Quando (come spesso accade) il progetto è privo di una qualsiasi logica di circolazione dei dati, il processo si caratterizza per una sostanziale debolezza nelle azioni di verifica, revisione e controllo, con il risultato di trovarsi nella condizione di non potere governare il costo, la qualità ed i tempi di realizzazione del progetto. Operare con metodo significa utilizzare opportuni sistemi di riferimento di carattere generale in grado di razionalizzare le procedure ed il codice di comunicazione associato alle attività di progetto. Nelle pagine che seguono viene presentata una panoramica dei principali sistemi di classificazione presenti in Italia e nel mondo.

Introduzione al problema

Un progetto edilizio è caratterizzato da un elevato grado di complessità e ciò a causa del gran numero di variabili in esso contenute e delle loro relazioni reciproche. Governare la complessità significa operare una rappresentazione di sintesi del progetto che sia esaustiva, flessibile e capace di evolvere con l'avanzare del flusso informativo. Questo impone di dotarsi di codici di comunicazione efficienti, capaci di supportare l'identificazione delle entità significative del progetto con l'obiettivo di trasferire a tutti i soggetti coinvolti nel processo edilizio tutte le informazioni necessarie secondo un criterio generale di coerenza. La destrutturazione del progetto secondo la strategia *top-down* ⁽¹⁾ porta ad un'immagine rappresentativa del progetto organizzata per listati basati su livelli crescenti di dettaglio che bene si sposa con i principali sistemi di scomposizione e codifica presenti in letteratura. Il ricorso ad uno di questi sistemi consente di potere disporre di un codice di comunicazione sostenuto da una sintassi rigorosa, in grado di regolare il linguaggio con il quale trasmettere le infor-

mazioni. L'adozione di un sistema di disarticolazione (che deve essere caratterizzato da flessibilità per garantirne l'utilizzo nei diversi contesti, espansibilità per garantirne l'impiego in progetti particolarmente complessi e capacità di esprimere le connessioni con il codice di comunicazione) garantirà una lettura articolata del progetto ed il raggruppamento dei contenuti dello stesso attraverso un database di progetto. Nelle pagine che seguono si cercherà di offrire al lettore una panoramica sui più importanti piani di classificazione normati utilizzati nel mondo.

La classificazione merceologica

Il sistema di classificazione tradizionalmente utilizzato in Italia segue la struttura tipica dei prezziari proposti dalle Camere di Commercio, dai comuni, dalle regioni o dal Genio civile. In queste pubblicazioni, aventi essenzialmente un carattere informativo e basate su un'attività di rilevazione dei prezzi nella piazza commerciale di riferimento ⁽²⁾, le attività convenzionali sono classificate secondo uno schema gerarchico che deriva dall'**assegnazione alle singole lavo-**

	Macro-categorie merceologiche		Categorie merceologiche				
A	Opere da imprenditore edile	A1	Nuove costruzioni	A.1.1	Demolizioni	A.1.1.1	Demolizione completa di fabbricati "fuori terra"
						A.1.1.2	Demolizione completa di fabbricati "entro terra"
				A.1.2	Scavi	A.1.2.1	Scavo generale completo eseguito a macchina
						A.1.2.2	Scavo parziale eseguito a macchina
						A.1.2.3	Scavo parziale eseguito a mano
				A.1.3	Calcestruzzi	A.1.3.1	Fornitura e posa in opera di calcestruzzo C25/30
						A.1.3.2	Fornitura e posa in opera di calcestruzzo C28/35
						A.1.3.3	Fornitura e posa in opera di calcestruzzo C32/40

Figura 1 – Esempio di sistema classificazione merceologico

razioni di uno o più caratteri comuni di natura merceologica secondo lo schema seguente:

- macro-categorie merceologiche
 - categorie merceologiche
 - classi merceologiche
 - ▶ lavorazioni convenzionali

Questo approccio (che, semplificando, trova una plastica rappresentazione nell'indice delle diverse pubblicazioni) fa riferimento all'immediata operatività del cantiere e considera la funzione che i diversi operatori assumeranno nel processo produttivo. Si istituisce, nei fatti, una **relazione diretta tra gli elementi fisici costituenti una costruzione e le lavorazioni da porre in essere per la loro realizzazione**.

Bisogna dire che se questa logica poteva avere un senso nel cantiere tradizionale (quando la produzione era incentrata sull'impresa generale di costruzioni caratterizzata al proprio interno da capacità manuali ed operative in grado di coprire direttamente gran parte delle attività da porre in essere), in una realtà tecnologicamente evoluta e ormai strutturalmente mutata (o, se vogliamo, per molti versi professionalmente impoverita) come quella attuale (caratterizzata dall'attività di *general contractor* che operano sistematicamente una esasperata parcellizzazione delle lavorazioni, delegandole a subcontraenti) dimostra chiaramente la propria **limitatezza nel supportare i processi**

decisionali ed operativi. Infatti la classificazione merceologica, pur consentendo lo sviluppo di alcuni elaborati essenziali (computo metrico estimativo e documenti collegati), poco si adatta ad inquadrare detti documenti in una logica gestionale più complessiva, capace di esprimere una sintassi coerente e leggibile a tutti i soggetti che, a vario titolo, giocheranno un ruolo nell'ambito del progetto.

La classificazione merceologica (che, ripetiamo, si basa sul concetto di lavorazione) individua macro-categorie stabilite in funzione degli attori che si occuperanno della fase realizzativa nell'ambito del tradizionale schema organizzativo del cantiere, che vede la presenza di un'impresa principale, di imprese subappaltatrici specializzate in opere civili e di imprese subappaltatrici specializzate nella realizzazione di impianti tecnologici. La figura 1 riporta lo stralcio del tipico schema di articolazione di un sistema di classificazione merceologico.

La UNI 8290

La Norma UNI 8290 ⁽³⁾ identifica un **criterio di classificazione** e di articolazione **del sistema edilizio in più livelli** secondo una **visione improntata a razionalità ed omogeneità**. I caratteri del sistema edilizio ⁽⁴⁾ vengono esaminati dalla Norma secondo uno schema di dettaglio impostato su **tre livelli**, dove il livello sot-

Classi di unità		Unità tecnologiche		Classificazione di elementi tecnici	
1	Struttura portante	1.1	Strutture di fondazione	1.1.1	Strutture di fondazioni dirette
				1.1.2	Strutture di fondazioni indirette
		1.2	Strutture di elevazione	1.2.1	Strutture di elevazione verticali
				1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali e inclinate
				1.2.3	Strutture di elevazione spaziali
		1.3	Strutture di contenimento	1.3.1	Struttura di contenimento verticale
			1.3.2	Struttura di contenimento orizzontale	
2	Chiusura	2.1	Chiusura verticale	2.1.1	Pareti perimetrali verticali
				2.1.2	Infissi esterni verticali
		2.2	Chiusura verticale inferiore	2.2.1	Solai a terra
				2.2.2	Infissi orizzontali
		2.3	Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1	Solai su spazi aperti
		2.4	Chiusura superiore	2.4.1	Coperture
			2.4.2	Infissi esterni orizzontali	
3	Partizione interna	3.1	Partizione interna verticale	3.1.1	Pareti interne verticali
				3.1.2	Infissi interni verticali
				3.1.3	Elementi di protezione
		3.2	Partizione interna orizzontale	3.2.1	Solai
				3.2.2	Soppalchi
				3.2.3	Infissi interni orizzontali
3.3	Partizione interna inclinata	3.3.1	Scale interne		
			3.3.2	Rampe interne	
4	Partizione esterna	4.1	Partizione esterna verticale	4.1.1	Elementi di protezione
				4.1.2	Elementi di separazione
		4.2	Partizione esterna orizzontale	4.2.1	Balconi e logge
				4.2.2	Passerelle
		4.3	Partizione esterna inclinata	4.3.1	Scale esterne
				4.3.2	Rampe esterne
5	Impianti di fornitura servizi	5.1	Impianto di climatizzazione	5.1.1	Alimentazione
				5.1.2	Gruppi termici
				5.1.3	Centrali trattamento fluidi
				5.1.4	Reti di distribuzione e terminali
				5.1.5	Reti di scarico condensa
				5.1.6	Reti di esalazione
		5.2	Impianto idrosanitario	5.2.1	Allacciamenti
				5.2.2	Macchine idrauliche
				5.2.3	Accumuli
				5.2.4	Riscaldatori
				5.2.5	Reti di distribuzione acqua fredda e terminali
				5.2.6	Reti di distribuzione acqua calda e terminali
				5.2.7	Reti di ricircolo acqua calda
				5.2.8	Apparecchi sanitari
		5.3	Impianto smaltimento liquidi	5.3.1	Reti di scarico acque fecali
				5.3.2	Reti di scarico acque domestiche
				5.3.3	Reti di scarico acque meteoriche
				5.3.4	Reti di ventilazione secondaria
		5.4	Impianto smaltimento aeriformi	5.4.1	Alimentazione
				5.4.2	Macchine
				5.4.3	Reti di canalizzazione
		5.5	Impianto smaltimento solidi	5.5.1	Canne di caduta
				5.5.2	Canne di esalazione
		5.6	Impianto distribuzione gas	5.6.1	Allacciamenti
				5.6.2	Reti di distribuzione e terminali
		5.7	Impianto elettrico	5.7.1	Alimentazione
				5.7.2	Allacciamenti
5.7.3	Apparecchiature elettriche				
5.7.4	Reti di distribuzione e terminali				
5.8	Impianto telecomunicazioni	5.8.1	Alimentazione		
		5.8.2	Allacciamenti		
		5.8.3	Reti di distribuzione e terminali		
5.9	Impianto fisso di trasporto	5.9.1	Alimentazione		
		5.9.2	Macchine		
		5.9.3	Parti mobili		

Figura 2 – Estratto dello schema di classificazione della Norma UNI 8290

toposto nasce dalla scomposizione del livello aggregato superiore, e tutto ciò secondo l'approccio proprio dell'analisi *top-down*. Detto schema si articola nei tre gruppi seguenti:

- classi di unità tecnologiche (primo livello di dettaglio)
 - unità tecnologiche (secondo livello di dettaglio)
 - classi di elementi tecnici (terzo livello di dettaglio).

I **primi due livelli** rappresentano le più generali funzioni finalizzate al **soddisfacimento delle esigenze poste dal tema progettuale**; il **terzo livello**, invece, rappresenta quelle caratteristiche che delineano i **caratteri che le unità tecnologiche debbono possedere e le funzioni** (complessive o parziali) **che sono chiamate a svolgere**.

Per ogni livello di dettaglio, la **codifica** associata alla singola componente edilizia **presenta doti di sufficiente generalità** ed efficienza in quanto l'attribuzione avviene secondo uno schema gerarchico che permette di **raggruppare e consolidare i codici in maniera significativa**, in grado di essere inseriti in un circuito informativo cui possono attingere gli attori di tutto il progetto.

La Norma UNI 8290 si basa sul principio che, sotto il profilo tecnico costruttivo, **ogni organismo architettonico è costituito da un insieme di parti tra loro correlate** secondo un'apparecchiatura costruttiva e che ognuna di queste parti presenta caratteristiche e attributi specifici di collocazione e di utilizzazione.

“Le etichette ⁽⁵⁾ sono (...) state identificate e collocate nei diversi livelli in funzione dei requisiti e dei sistemi di requisiti attribuibili alle parti o alle sottoparti, con la prerogativa di una loro caratterizzazione tecnologica, misurabilità e verifica di coerenza” ⁽⁶⁾.

La norma, inoltre, individua una terminologia standardizzata da impiegare nelle attività di progettazione, costruzione e, più in generale, di comunicazione, basando dette definizioni sulla funzione dominante attribuita alla parte del sistema edilizio ⁽⁷⁾. È necessario, però, precisare che **la UNI 8290 presenta limiti concettuali che si traducono in limiti operativi**. Il limite principale consiste nel fatto che la Norma interpreta l'edificio ⁽⁸⁾ come il risultato di un processo ormai concluso, disinteressandosi, nei fatti, del processo produttivo. Per questa ragione non vengono considerati elementi importanti quali la progettazione del

cantiere, i movimenti terra, le demolizioni, ma anche tutte le attività propedeutiche e di chiusura del processo quali la gara d'appalto, i controlli in fase di costruzione e del costruito, i piani di manutenzione e la gestione in fase di esercizio. Per tutti questi motivi, la UNI 8290 può essere efficacemente utilizzata solo se adeguatamente implementata con ulteriori elementi di dettaglio e/o con l'introduzione di “Classi di Unità Tecnologiche” (da intendersi in senso lato) in grado di rappresentare adeguatamente i caratteri del progetto nella loro complessità.

Gli International Construction Measurement Standards (ICMS)

Gli *International Construction Measurement Standards* (ICMS) forniscono una struttura e un formato per la definizione economica di un intervento edilizio lungo tutto il suo ciclo di vita ⁽⁹⁾. Gli ICMS si concentrano su questioni direttamente correlate agli *asset* costruiti in modo da consentire attività di confronto indipendentemente dalle barriere nazionali (logiche di destrutturazione dei progetti, sistemi costruttivi, apparati normativi, sistemi di misura e di misurazione, ecc.).

Gli ICMS forniscono definizioni, scopi, attributi e valori, unità di misura e note esplicative per ciascuna tipologia di progetto di architettura e ingegneria civile (edifici, strade, ferrovie, ponti, gallerie, dighe, ecc.) e mettono, inoltre, a disposizione degli operatori indicazioni:

- su come gli standard debbano essere usati;
- sul livello di dettaglio da considerare nell'ambito dell'analisi del valore di costo di un progetto;
- sui criteri di destrutturazione dei progetti;
- sui criteri da adottare per garantire confronti tra elementi assimilabili, anche tenendo conto delle differenti valute e dei differenti momenti di realizzazione dei manufatti.

È necessario precisare che l'obiettivo degli ICMS non è quello di sostituire altri sistemi di classificazione o logiche locali di articolazione dei costi in uso ma quello di fornire una cornice di reportistica accettata a livello internazionale in cui i dati, generati secondo le diverse metodiche, possano essere mappati e analizzati per una lettura trasparente e adatta al confronto.

Il progetto degli ICMS è strettamente connesso agli Standard Internazionali di Misurazione della Proprie-

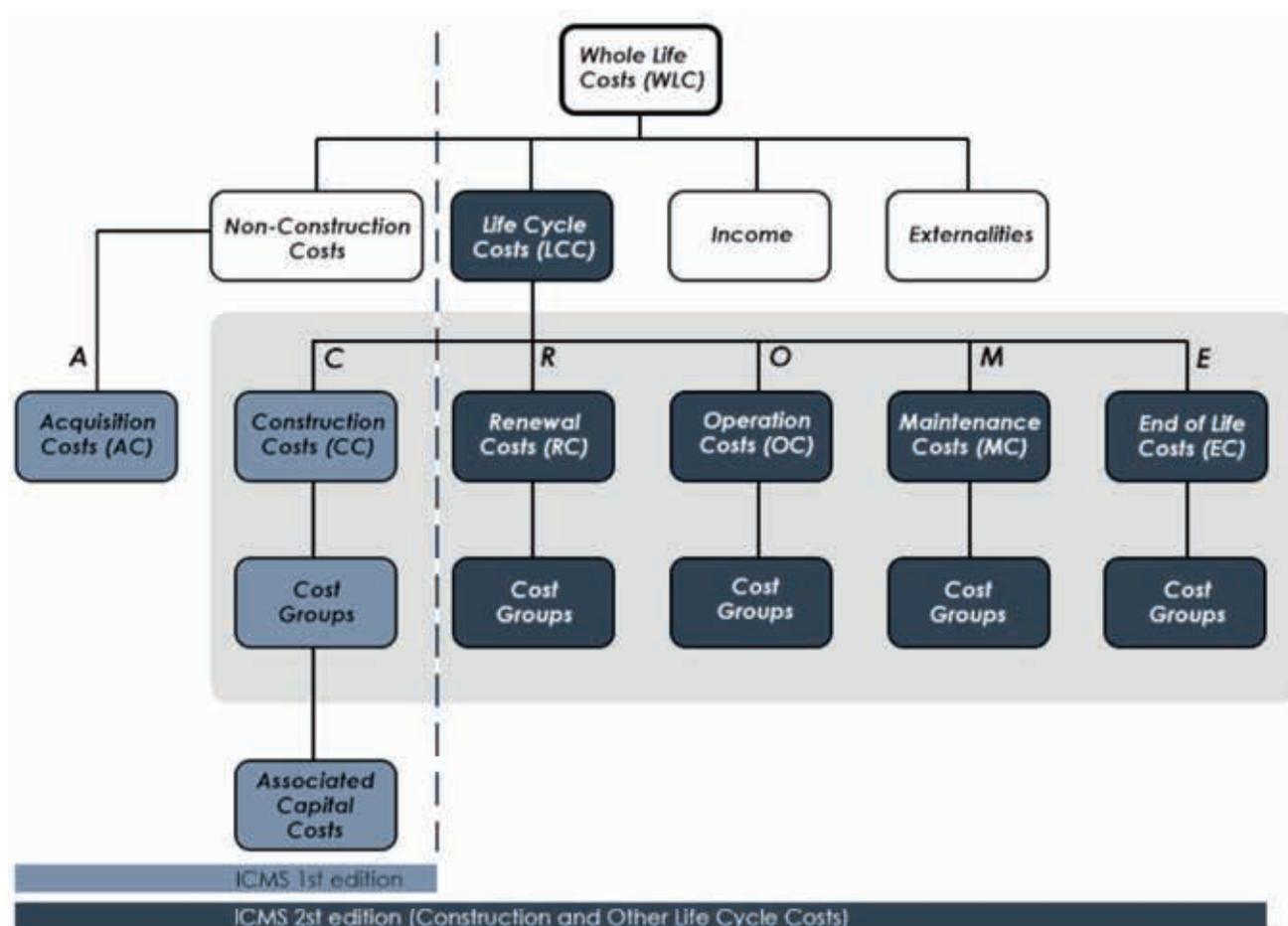


Figura 3 – Criterio di articolazione dei costi di progetto adottato dagli ICMS

tà (*International Property Measurement Standards-IPMS*) ⁽¹⁰⁾.

La Figura 3 illustra il criterio di articolazione dei costi di progetto adottato dagli ICMS, mentre la Figura 4 rappresenta la tassonomia generale utilizzata dagli ICMS (quattro livelli gerarchici, dei quali i primi tre – dal Livello 1 al Livello 3 – sono obbligatori, mentre il Livello 4 è opzionale).

Gli ICMS forniscono indicazioni su come quantificare i costi del ciclo di vita del progetto e su come considerare la vita attesa degli *asset* (vita di progetto, vita di servizio, vita economica, vita fisica prevista o qualsiasi altro periodo concordato con il promotore sin dall'inizio).

L'interesse per il format costituito dagli ICMS deriva dalla sua **semplicità** e dalla sua **visione complessiva**

del ciclo di vita dell'*asset*, oltre alla sua capacità di essere sostanzialmente **compatibile e sovrapponibile a tutti gli altri sistemi di classificazione**. Per questa ragione lo standard bene si adatta ad essere una sorta di linguaggio sovranazionale in grado di inquadrare in una cornice razionale e sufficientemente esauritiva il processo edile.

MasterFormat

Il sistema MasterFormat ⁽¹¹⁾ rappresenta il sistema di classificazione dei costi più utilizzato negli Stati Uniti ed in Canada e, in virtù della propria esaustività e della propria capacità di gestire la documentazione di progetto, molte realtà operanti nel settore delle costruzioni a livello internazionale lo impiegano ormai in maniera sistematica.

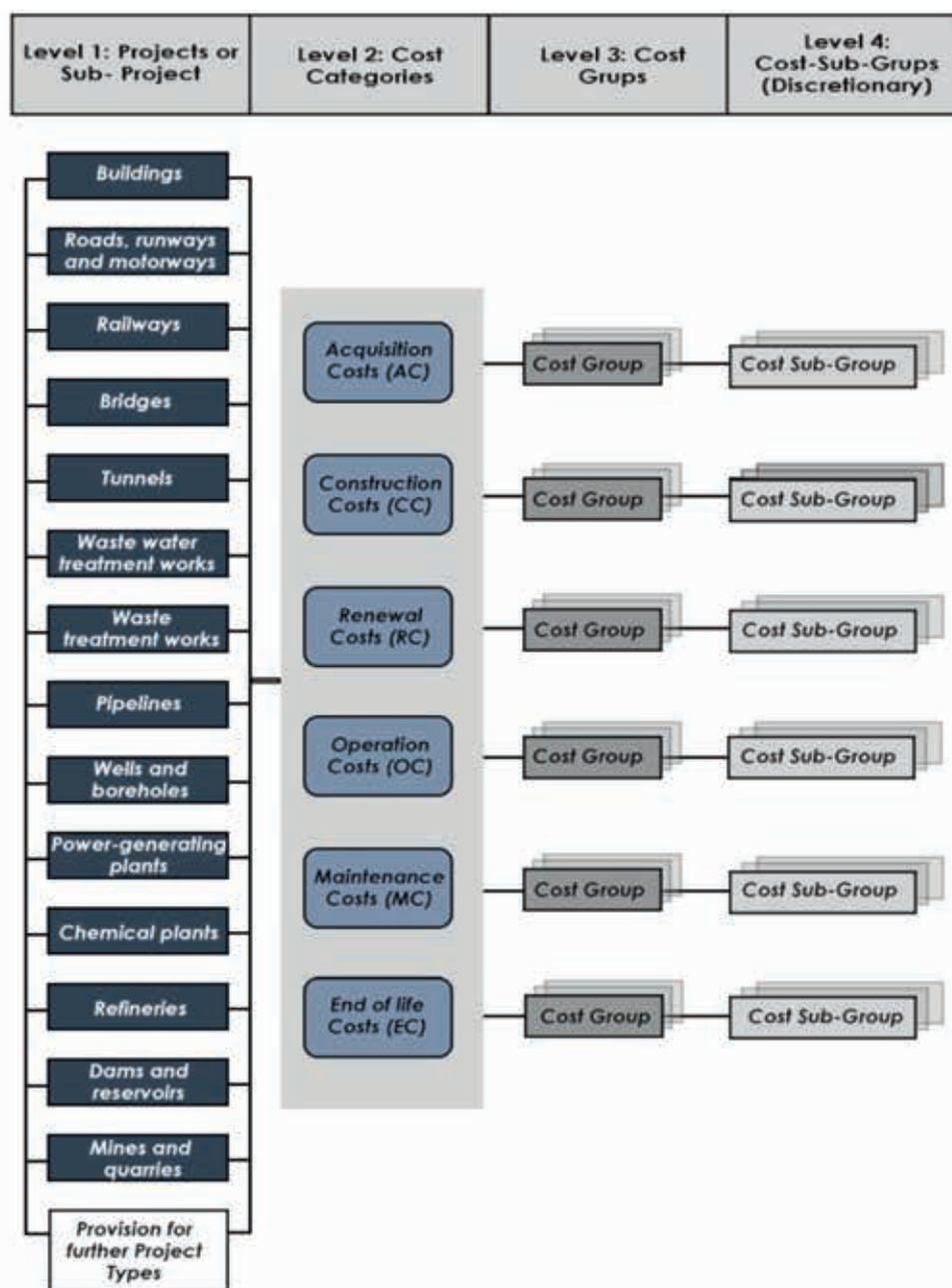


Figura 4 – Tassonomia generale degli ICMS

MasterFormat 2016 ⁽¹²⁾ è organizzato con il proposito di mettere a disposizione una struttura di rappresentazione del progetto in grado di fornire le “coordinate” delle entità riferibili al progetto di **realizzazione di un’opera** di architettura o di ingegneria civile ed al

suo mantenimento nel tempo, il tutto secondo un’organizzazione razionale basata su precisi livelli gerarchici, così come illustrato dalla figura 5. Il sistema di codifica adottato si basa su una serie di tre coppie di numeri identificanti rispettivamente i li-

velli 1, 2, 3, ai quali è possibile aggiungere ulteriori livelli di approfondimento, garantendo in tal modo una più stringente adesione alle esigenze del progetto specifico.

La struttura di MasterFormat presenta caratteri di maggiore efficienza rispetto ai sistemi di rappresentazione di natura merceologica o riferiti alla UNI 8290 in quanto **presenta un elevato grado di interesse per**

tutte le problematiche riferibili alla gestione del progetto.

“MasterFormat si prospetta quindi come uno strumento essenziale per predisporre e fissare il livello qualitativo dell'obiettivo e delle sue componenti, secondo logiche di disaggregazione tali da permettere una pianificazione sostenibile del procedimento e un razionale sviluppo del progetto attraverso l'ottimizza-

LEVEL DIVISION NUMBER AND TITLES			
Level 1	Level 2	Level 3	
GROUPS	SUBGROUPS	DIVISION	
PROCUREMENT AND CONTRACTING REQUIREMENTS	N/A	00 00 00	Procurements and contracting Requirements
SPECIFICATION GROUP	GENERAL REQUIREMENTS	01 00 00	General requirements
		02 00 00	Existing conditions
		03 00 00	Concrete
		04 00 00	Masonry
		05 00 00	Metals
		06 00 00	Wood, Plastics and composites
		07 00 00	Thermal and moisture protection
		08 00 00	Openings
		09 00 00	Finishes
		10 00 00	Specialties
		11 00 00	Equipment
		12 00 00	Furnishings
		13 00 00	Special constructions
		14 00 00	Conveying equipment
		15 00 00	Reserved
		16 00 00	Reserved
		17 00 00	Reserved
		18 00 00	Reserved
		19 00 00	Reserved
	FACILITY SERVICES B-GROUP	20 00 00	Reserved
		21 00 00	Fire suppression
		22 00 00	Pumping
		23 00 00	Heating, ventilating and air conditioning
		24 00 00	Reserved
		25 00 00	Integrated automation
		26 00 00	Electrical
		27 00 00	Communications
		28 00 00	Electronic safety and security
		29 00 00	Reserved
	SITE AND INFRASTRUCTURES	30 00 00	Reserved
		31 00 00	Earthwork
		32 00 00	Exterior improvements
		33 00 00	Utilities
		34 00 00	Transportation
		35 00 00	Waterway and marine construction
		36 00 00	Reserved
		37 00 00	Reserved
		38 00 00	Reserved
		39 00 00	Reserved
	PROCESS EQUIPMENT	40 00 00	Process integration
		41 00 00	Material processing and handling equipment
		42 00 00	Process heating, cooling and drying equipment
		43 00 00	Process gas and liquid handling, purification and storage equipment
		44 00 00	Pollution control equipment
		45 00 00	Industry-specific manufacturing equipment
		46 00 00	Reserved
		47 00 00	Reserved
		48 00 00	Electrical power generation
		49 00 00	Reserved

Figura 5 – MasterFormat, schema di classificazione di primo livello UniFormat II

ASTM Uniformat II Classification for Building (Elements E1557-97)							
Level 1 Major Group Elements		Level 2 Group Elements		Level 3 Individual Elements			
A	Substructure	A10	Foundations	A1010	Standard Foundations		
				A1020	Special Foundations		
				A1030	Slab on grade		
		A20	Basement construction	A2010	Basement excavation		
A2020	Basement Walls						
B	Shell	B10	Superstructure	B1010	Floor construction		
				B1020	Roof construction		
		B20	Exterior enclosure	B2010	Exterior walls		
				B2020	Exterior windows		
				B2030	Exterior doors		
		B30	Roofing	B3010	Roof coverings		
				B3020	Roof openings		
				C10	Interior construction	C1010	Partitions interior
						C1020	Doors
C1030	Fittings						
C20	Stairs	C2010	Stair construction				
		C2020	Stair finished				
C30	Interior finishes	C3010	Wall finishes				
		C3020	Floor finishes				
		C3030	Ceiling finishes				
D	Services	D10	Conveying	D1010	Elevators & lifts		
				D1020	Escalators and moving walks		
				D1090	Other conveying systems		
		D20	Plumbing	D2010	Plumbing fixtures		
				D2020	Domestic water distribution		
				D2030	Sanitary waste		
				D2040	Rain water drainage		
				D2090	Other plumbing systems		
				D30	HVAC	D3010	Energy supply
		D3020	Heat generating systems				
		D3030	Cooling generating systems				
		D3040	Distribution systems				
		D3050	Terminal & package units				
		D3060	Controls & instrumentation				
		D3070	Systems testing and balancing				
		D3090	Other HVAC systems and equipment				
		D40	Fire protection			D4010	Sprinklers
						D4020	Standpipes
				D4030	Fire protection specialties		
				D4090	Other fire protection systems		
		D50	Electrical	D5010	Electrical services & distribution		
				D5020	Lightening and branch wiring		
				D5030	Communications & security		
D5090	Other electrical systems						
E10	Equipment			E1010	Commercial equipment		
		E1020	Institutional equipment				
		E1030	Vehicle equipment other				
		E1090	Equipment				
		E20	Furnishings	E2010	Fixed furnishings		
E2020	Movable furnishings						
F	Special construction & demolition	F10	Special construction	F1010	Special structures		
				F1020	Integrated construction		
				F1030	Special construction systems		
				F1040	Special facilities		
				F1050	Special controls and instrumentations		
		F20	Selective building demolition	F2010	Building elements demolition		
				F2020	Hazardous components abatement		

Figura 6 – UniFormat II, elementi funzionali

ASTM Uniformat II Classification of Building related Site Works (Elements E1557-97)					
Level 1 Major Group Elements		Level 2 Group Elements		Level 3 Individual Elements	
G	Buildingsite work	G10	Site preparation	G1010	Site clearing
				G1020	Site demolition and relocations
				G1030	Site earthwork
				G1040	Hazardous waste remediation
		G20	Site improvements	G2010	Roadways
				G2020	Parking lots
				G2030	Pedestrian paving
				G2040	Site development
				G2050	Landscaping
		G30	Site mechanical utilities	G3010	Water supply
				G3020	Sanitary sewer
				G3030	Storm sewer
				G3040	Heating distribution
				G3050	Cooling distribution
				G3060	Fuel distribution
		G40	Site electrical utilities	G3090	Other site mechanical utilities
				G4010	Electrical distribution
				G4020	Site lightning
				G4030	Site communications & security
		G90	Other site construction	G4090	Other site electrical utilities
G9010	Service and pedestrian tunnels				
G9090	Other site systems & equipment				

Figura 7 – UniFormat II, opere preliminari

zione degli sforzi necessari al suo governo per tutto il ciclo di vita, mettendo in campo quelle norme procedurali che per ogni entità, carattere e relazione, consentono l'applicazione delle regole:

- dirlo una sola volta
- dirlo correttamente
- dirlo nel posto giusto

e ciò per scongiurare lacune nel sistema informativo evitando nel contempo il sovraccarico delle informazioni, in una realtà nella quale il progetto si presenta come un sistema a crescente complessità" (13).

UniFormat II (ASTM (14) E 1557-97) (15) è un sistema di classificazione che propone un modello di destrutturazione del progetto che, riferendosi ad una **logica per obiettivi**, permette l'individuazione delle componenti di progetto secondo un approccio razionale e mette a disposizione una terminologia ed una sintassi organica a cui fare riferimento per una corretta comunicazione

di progetto. La norma identifica le componenti funzionali di una generica costruzione e li organizza secondo una chiave di lettura incentrata al ruolo che l'elemento è chiamato ad assolvere all'interno del sistema tecnologico (**Building Elements**, elementi da "A" ad "F") ed ambientale (**Building Related Site Work**, elemento "G"). Con quest'ultima matrice, UniFormat II considera tutti i fatti transitori del progetto quali il contesto, le caratteristiche ergotecniche del cantiere, i lavori preliminari, l'analisi delle interferenze, le opere di mitigazione ambientale. Questo approccio rappresenta un sicuro miglioramento rispetto ai sistemi di classificazione merceologici e tecnologici (UNI 8290) che, come si è detto, si limitano ai soli caratteri funzionali.

Le etichette della matrice di rappresentazione di UniFormat II sono, come per tutti gli altri sistemi di classificazione (ad eccezione della lettura merceologica), organizzate su tre livelli di dettaglio e precisamente:

Level 1: Major Group Elements;
 Level 2: Group Elements;
 Level 3: Individual Elements.

Gli elementi sono classificati in base alla funzione assunta all'interno della apparecchiatura costruttiva a cui appartengono secondo la doppia logica *Building Elements* e *Building Related Site Work*, senza alcun riferimento ai materiali o alle logiche costruttive ma con una visione perfettamente adattabile all'intero ciclo di vita del progetto.

"(...) La classificazione proposta da UniFormat II si basa sull'individuazione di opportuni invarianti (caratteri comuni o classi di entità o insiemi tipologici) cui è possibile associare un preciso livello qualitativo e le modalità del suo controllo/verifica/misura ... La singolarità di UniFormat II deriva dalla capacità del sistema di rappresentare contemporaneamente gli aspetti tecnici e i centri di costo più significativi del progetto (centri di costo aggregati)" ⁽¹⁶⁾.

UniFormat II bene si allinea all'obiettivo di standardizzare i criteri di parametrizzazione per lo sviluppo delle stime sintetiche ⁽¹⁷⁾ in sede di studi preliminari o progetti di fattibilità tecnico-economica, oltre a rappresentare un valido supporto nell'ambito:

- della valutazione delle soluzioni tecniche conformi e delle possibili alternative;
- dello sviluppo dei quadri tecnico-economici;
- dello sviluppo di checklist di controllo;
- dello sviluppo di specifiche prestazionali;
- dell'analisi dei rischi di progetto;
- della manutenzione programmata;
- della redazione dei manuali di manutenzione.

UniFormat II, così come i sistemi precedentemente descritti, si presta ad essere implementato con un quarto livello di disaggregazione che, partendo dal Livello 3 (*Individual Elements*), sviluppa al Livello 4 **sotto-elementi** (*Sub-Elements*) ulteriori elementi dettaglio del progetto che possono benissimo essere intesi come i caratteri distintivi degli elementi tecnici. Le etichette derivanti da **"UniFormat esteso"** costituiscono, dunque, un insieme tipologico di carattere generale che comprende i possibili elementi tecnici ed è in grado di completare la descrizione del sistema edilizio ⁽¹⁸⁾.

OmniClass

OmniClass™ Construction Classification System (conosciuto come OmniClass™ o OCCS) è un sistema di

classificazione sviluppato ed adottato dall'industria americana delle costruzioni edili. Consiste in un **sistema a faccette** ⁽¹⁹⁾ finalizzato a mettere a disposizione un codice di comunicazione in grado di garantire coerenza nel sistema informativo di progetto lungo **tutte le fasi del suo ciclo di vita** e tutto ciò grazie ad una logica che consente di navigare all'interno del *repository* delle informazioni con percorsi logici che in ogni momento possono essere ripercorsi da ogni attore coinvolto nel processo edile. OmniClass, grazie all'individuazione strutturata delle entità di progetto ed alla identificazione e gestione delle relazioni, è in grado di contribuire alla formazione di un linguaggio comprensibile e condivisibile attraverso una organizzazione razionale dei dati che vengono strutturati secondo un lessico preciso ed una sintassi efficiente ⁽²⁰⁾.

"(...) OmniClass trova utile applicazione in ampi contesti operativi per la sua capacità di sapere organizzare tutti gli aspetti legati al sistema informativo del progetto, dalla formazione di librerie e archivi per i materiali ed i prodotti utilizzati nella costruzione, all'organizzazione dei caratteri tecnici delle scelte progettuali, alla strutturazione del quadro informativo del progetto, all'individuazione dei centri di costo ed alla loro organizzazione. Il sistema è sostanzialmente in grado di rappresentare i contenuti informativi del progetto in tutti i suoi aspetti di ordine generale e di dettaglio, attraverso la formazione di una solida strutturazione dei dati, la cui gestione può essere affrontata anche con moderni strumenti informatici" ⁽²¹⁾. OmniClass, attinge ad altri sistemi di classificazione, rappresentati principalmente da MasterFormat ed UniFormat II, e ciò con il chiaro intento di ricondurre questi sistemi in un contesto generalizzato ⁽²²⁾.

La struttura di OmniClass (che si presenta come un sistema aperto ed implementabile) prevede l'adozione di quindici tabelle, ognuna delle quali rappresenta un carattere generale (faccetta) del sistema informativo. Ogni tabella può essere destrutturata in livelli elementari, può essere utilizzata in maniera indipendente (per governare uno specifico tipo di informazione) e/o in combinazione con le altre in funzione della complessità del sistema informativo da strutturare per la corretta gestione del progetto. Le tabelle da "11" a "22" sono finalizzate all'organizzazione dei risultati, le tabelle "23", "33", "34", "35", "36" e "41" sono, invece, dedicate all'orga-

Omniclass Construction classification system		
1	Table 11	11-00 00 00 Construction entities by function
2	Table 12	12-00 00 00 Construction entities by form
3	Table 13	13-00 00 00 Spaces by function
4	Table 14	14-00 00 00 Spaces by form
5	Table 21	21-00 00 00 Elements (including designed elements)
6	Table 22	22-00 00 00 Work results
7	Table 23	23-00 00 00 Products
8	Table 31	31-00 00 00 Phases
9	Table 32	32-00 00 00 Services
10	Table 33	33-00 00 00 Disciplines
11	Table 34	34-00 00 00 Organizational roles
12	Table 35	35-00 00 00 Tools
13	Table 36	36-00 00 00 Information
14	Table 41	41-00 00 00 Materials
15	Table 42	49-00 00 00 Properties

Figura 8 – OmniClass, le 15 tabelle adottate

Figura 9 – UniClass, le 11 tabelle adottate

UniClass 2015 Construction Classification System			
n°	Table code	Number	Description
1	Table 1	Co	Complexes
2	Table 2	En	Entities
3	Table 3	Ac	Activities
4	Table 4	SL	Spaces/Locations
5	Table 5	EF	Elements/Function
6	Table 6	Ss	System
7	Table 7	Pr	Products
8	Table 8	TE	Tools and equipment
9	Table 9	Zz	CAD
10	Table 10	FI	Form of information
11	Table 11	PM	Project Management

nizzazione delle risorse, mentre le tabelle “31” e “32” consentono la rappresentazione dei procedimenti costruttivi ⁽²³⁾.

UniClass

Il modello UniClass è un sistema di classificazione per l'industria inglese in grado di coprire tutta la filiera del settore delle Costruzioni. Pubblicato per la prima volta nel 1997, ha subito modifiche negli anni, la più importante delle quali è quella sviluppata tra il 2013 e il 2015, identificata come UniClass 2 (o UniClass 2015) e pensata per potere essere compatibile con approcci al progetto secondo la logica del *Building Information Modeling*.

UniClass 2015 consiste in un sistema di classificazione unificato, articolato secondo una suite gerarchica di tabelle sviluppate secondo un sistema di classificazione decimale a faccetta.

Le tabelle associate a questa norma permettono di definire un progetto in modo molto dettagliato e sono così articolate:

- attività;
- complessi;
- elementi;
- entità (secondo forma);
- entità (secondo funzione);
- fasi di progetto;
- prodotti da costruzione;
- spazi;
- sistemi;
- risultati di lavoro;
- CAD.

La classificazione avviene attraverso un codice a coppie di numeri decimali, che ne descrivono il livello di dettaglio; si parte dalle prime due cifre rappresentanti il gruppo a cui appartiene l'elemento fino ad arriva-

re al sottogruppo in cui vengono attribuiti altri aggettivi all'elemento stesso, in grado di definirlo nel modo più preciso ed univoco possibile.

A titolo esemplificativo, pensando di dovere caratterizzare la struttura di una copertura inclinata in legno, per l'attribuzione del codice si procede come segue:

- 30 rappresenta la struttura della copertura;
- 30_10 rappresenta la struttura della copertura e la sua inclinazione;
- 30_10_30 rappresenta la struttura della copertura, la sua inclinazione ed il materiale costituente.

Conclusioni

I sistemi di codifica brevemente descritti, con i loro rispettivi punti di forza e di debolezza e con la loro specifica chiave di lettura del progetto, possono, in ultima istanza, essere ritenuti equivalenti nel momento in cui il loro impiego è determinato dalla ne-

cessità di individuare una procedura che porti alla formazione di una struttura di analisi e di rappresentazione del progetto in grado di interpretarlo compiutamente. Lo sforzo deve essere quello di pervenire ad una disarticolazione razionale del piano di intervento (*Business Breakdown Structure – BBS*) capace di:

- dare vita ad una sistematica classificazione delle informazioni;
- identificare compiutamente i caratteri delle scelte adottate;
- chiarire i riferimenti e le correlazioni esplicite ed implicite;
- identificare chiaramente i compiti gestionali.

I sistemi di classificazione standard possono costituire una base sulla quale costruire l'intero sistema informativo del progetto per la gestione efficiente delle scelte progettuali in termini tecnici, economici, finanziari, amministrativi, contrattuali e logistici.

Note

(¹) Nella strategia *top-down* ogni elemento di progetto deriva dalla scomposizione razionale di elementi di ordine superiore precedentemente identificati. In altri termini, si procede dal generale al particolare per scomposizioni successive. Nella strategia *bottom-up* (che parte da presupposti diametralmente opposti) si identificano gli elementi di dettaglio per procedere successivamente alla loro aggregazione ricavandone gli elementi riassunto. In altre parole, si procede dal particolare al generale per aggregazioni successive. La strategia *top-down* bene si adatta alla logica di disarticolazione di progetto nota in letteratura come *Work Breakdown Structure* (WBS), una tecnica di *project management* impiegata per destrutturare, attraverso livelli di dettaglio crescenti, le fasi e/o i *deliverable* e/o le attività da eseguirsi nell'ambito di un progetto.

(²) A puro titolo di esempio, la pubblicazione "Prezzi Informativi Opere Edili" della Camera di Commercio di Milano-Monza-Brianza-Lodi riporta quotazioni medie di mercato per costruzioni di media entità, realizzate nell'area Metropolitana di Milano, Monza-Brianza e Lodi.

(³) Fisicamente la norma è organizzata in più parti:

UNI 8290-1 – Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia

UNI 8290-2 – Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti.

UNI 8290-3 – Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti

UNI 8290/1 FA 122-83 Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia

Per ogni approfondimento si rimanda al sito dell'UNI <https://www.uni.com>.

(⁴) Il sistema edilizio è un insieme di elementi destinati alla modifica dell'ambiente in cui vive l'uomo con l'intento di soddisfare parte dei suoi bisogni fondamentali (fisiologici, di sicurezza e di appartenenza). Il sistema edilizio è anche organismo edilizio (UNI 10838) inteso come l'insieme strutturato di elementi spaziali (sistema ambientale) e di elementi tecnici (sistema tecnologico), interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche. I bisogni fondamentali dell'uomo inerenti il sistema edilizio si tramutano in esigenze (ovvero necessità e richieste degli utenti del sistema edilizio) riconducibili alle seguenti classi (UNI 8289):

- Sicurezza: insieme delle condizioni relative alla incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema edilizio.
- Benessere: insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute ed allo svolgimento delle attività degli utenti.
- Fruibilità: insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio ad essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività.
- Aspetto: insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti.
- Gestione: insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio.
- Integrabilità: insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra di loro.

- Salvaguardia dell'ambiente: insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovra-sistemi di cui il sistema edilizio fa parte.

Le prime cinque esigenze (sicurezza, benessere, fruibilità, aspetto, gestione) riguardano sia il sistema ambientale che tecnologico; le restanti due esigenze (integrabilità e salvaguardia dell'ambiente) riguardano esclusivamente il sistema tecnologico.

(5) Per "etichette" si devono intendere le voci di ciascun livello.

(6) G. UTICA, *Tecniche avanzate di analisi e gestione dei progetti*, Milano, 2010.

(7) La proposta di definizioni standard non preclude la possibilità di attribuire alle parti del sistema edilizio ulteriori caratteri o attributi che possano implementare il sistema informativo.

(8) La Norma si riferisce esplicitamente agli edifici e, dunque, non può essere applicata, più in generale, alle opere di ingegneria civile.

(9) Per una migliore descrizione del sistema di classificazione si veda:

- G. BRIONI, *ICMS: un format internazionale per la gestione dei costi nel mondo delle costruzioni*, L'Ufficio Tecnico 10-2020, Maggioli Editore.

- Il sito dell'ICMS rintracciabile al link <http://icms-coalition.org>.

(10) Per approfondimenti sugli IPMS si veda il sito rintracciabile al link <http://ipms.org>.

(11) Per ogni approfondimento sull'argomento è possibile fare riferimento ai seguenti siti internet:

- <http://www.masterformat.com/revisions>
- <https://www.edmca.com/media/35207/masterformat-2016.pdf>

(12) Lo standard MasterFormat è stato pubblicato per la prima volta dal *Construction Specification Institute* (CSI) nel 1961, ha subito una prima revisione nel 2004 ed una seconda nel 2016 (vigente nel momento in cui si scrive).

(13) G. UTICA, *op.cit.*

(14) ASTM International (già nota come *American Society for Testing and Materials*) è un'organizzazione di standard internazionali che sviluppa e pubblica standard tecnici (aventi carattere volontario e non cogente) per un'ampia gamma di materiali, prodotti, sistemi e servizi. Circa 12.575 standard ASTM operano a livello globale. La sede dell'organizzazione è in Pennsylvania.

(15) Per ogni approfondimento è possibile consultare il sito rintracciabile al link <https://www.uniformat.com>.

(16) G. UTICA, *op.cit.*

(17) Le stime sintetiche si basano su una rappresentazione del progetto che adotta criteri di tipo parametrico, diversamente dalle stime analitiche che utilizzano una classificazione tendente a simulare i processi produttivi del futuro cantiere (cantiere virtuale).

(18) È opportuno segnalare che gli elementi tecnici individuati dal Livello 4 (Sub-Element) della UniFormat II bene si prestano ad essere impiegati per procedere (con opportuni adattamenti) all'estensione della UNI 8290 al fine di allargarne l'ambito informativo e soddisfare tutte le esigenze di comunicazione poste dal progetto.

(19) La classificazione a faccette o multidimensionale è un sistema di classificazione dell'informazione elaborato in ambito bibliotecario come alternativa agli schemi di classificazione ad albero. Benché riconosciuta come più potente dei sistemi tradizionali, la classificazione a faccette non si è mai imposta come standard in ambito bibliotecario. È stato l'avvento dell'architettura dell'informazione per il web a rilanciare questo sistema: la sua versatilità lo rende, infatti, particolarmente adatto all'ambiente digitale e all'ipertestualità su cui poggia il web. I sistemi di classificazione ad albero considerano l'oggetto da classificare nella sua interezza, e come tale lo collocano in una classe che funziona come un contenitore: l'oggetto è contenuto o non è contenuto in quella classe-contenitore. La classificazione a faccette viceversa non considera l'oggetto da classificare come un tutt'uno indivisibile, ma lo scompone in proprietà e tratta ciascuna di esse in maniera indipendente. Immaginiamo l'oggetto da classificare come un poliedro: ciascuna faccetta descrive una faccia del poliedro, cioè una proprietà dell'oggetto; tutte insieme, le faccette restituiscono il poliedro completo, cioè una descrizione esaustiva dell'oggetto. A questo processo di analisi-scomposizione operato dal classificatore, fa riscontro un processo complementare di sintesi-composizione operato dall'utilizzatore finale. Al momento dell'interrogazione del sistema, il pubblico può infatti combinare fra loro le faccette in modo da ottenere classi su misura. Ad esempio: film noir (genere), degli anni '40 (periodo), tratti da opere di Raymond Chandler (adattamento). In un sistema a faccette le classi sono infatti generate sul momento (*on the fly*) attraverso la combinazione delle faccette stesse, che funzionano in questo modo come i mattoncini del Lego o i pezzi del Meccano (l'italiano faccetta è la traduzione poco felice dell'inglese *facet* che significa appunto "aspetto, proprietà").

(20) L'uso sempre più diffuso di strumenti informatici ha messo in evidenza l'irrazionalità con la quale tradizionalmente vengono affidati, affrontati e realizzati i progetti nel mondo delle costruzioni. In particolar modo, il ricorso ad una logica digitale di approccio al progetto come quella del *Building Information Modeling* pone quotidianamente il problema di adottare e condividere un linguaggio capace di fare interagire effettivamente tutti i soggetti professionali coinvolti in un progetto. Un sistema di classificazione impostato su livelli gerarchici e un lessico accompagnato da un vocabolario controllato è il modo più efficiente con cui è possibile impostare l'identificazione delle entità di progetto ed il trasferimento dell'informazione.

(21) G. UTICA, *op.cit.*

(22) OmniClass, utilizzando parti significative di altri sistemi di classificazione e riconoscendone implicitamente l'efficacia, ha indirizzato i propri sforzi al miglioramento del sistema

(23) Per una lettura esaustiva del sistema OmniClass si veda il sito reperibile al link <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>.



ARCHITETTURA E INGEGNERIA

Architettura tensile

Tra origine ed evoluzione dell'unione tra tensostruttura e membrana tessile

► di **Valentina Covre**Architetto,
Università Iuav di Venezia*Photo credits: Richard Davies*

L'introduzione delle tensostrutture tra le tecniche costruttive ha origine nella ricerca di una caratteristica, o meglio nel perseguimento di un obiettivo, che nel tempo ha assorbito sempre più attenzioni e sforzi all'interno del campo dell'architettura e dell'edilizia: la leggerezza. Distanziandosi dal convenzionale comportamento statico degli edifici, che cercano nell'impiego di una grande quantità di materia (altrimenti chiamata "peso proprio" della struttura, o "peso morto" dal termine inglese "dead load") le condizioni per rispondere alla resistenza meccanica minima richiesta per la stabilità, le tensostrutture fanno propri gli schemi costruttivi che, sin dalla prima rivoluzione industriale, i nuovi e più leggeri materiali da costruzione (come ad esempio l'acciaio) hanno permesso, scardinando i vecchi rapporti resistenza/peso. L'intuizione della validità degli schemi tensostrutturali risale tuttavia ai primordi stessi della civiltà, quando popolazioni primitive adottarono strutture basate sull'impiego di funi (in quel caso di corda) in tensione per coprire spazi di piccole o medie dimensioni. Anche alcuni esempi di imbarcazioni egizie fanno percepire la piena consapevolezza del funzionamento che sta alla base dei sistemi strallati o dei ponti sospesi.

*Photo credits: Dave Morris*

L'abaco di forme e soluzioni tecniche è vario: dalle tende beduine dei deserti arabi alle abitazioni dei Navajo, fino ad arrivare al primo impiego integrato con un sistema a funi per coprire il Colosseo Romano nel 70 d.C., ai *velarium* mobili dei teatri romani, ai *chapeau* dei circhi.

Si tratta di esempi che esplicitano la convergenza verso obiettivi tuttora posti alla base della progettazione di architetture contemporanee: versatilità e adattabilità (a diverse configurazioni architettoniche, a diversi spazi, a diversi carichi); reversibilità del sistema e ri-usabilità della struttura dopo l'eventuale uso temporaneo; rapidità e facilità di esecuzione e montaggio, grazie alla prefabbricazione degli elementi; faci-

lità di sostituzione degli elementi o delle parti deteriorate; ottimizzazione dell'uso di materiale e di risorse, con conseguenti risparmi nel trasporto e nel lavoro in cantiere.

Per conoscere i veri e propri pionieri delle tensostrutture bisognerà però attendere la metà del Novecento, quando gli studi e le sperimentazioni di architetti e ingegneri come Frei Otto (fondatore, tra l'altro, dell'Istituto per strutture portanti leggere di Stoccarda) o Richard Buckminster Fuller (in questo caso associati allo studio delle strutture tensegrali ⁽¹⁾) portano ai primi edifici in cui la sollecitazione predominante è proprio la trazione e il rapporto tra peso proprio e peso portato è completamente rovesciato (pesi



Il Renault Centre

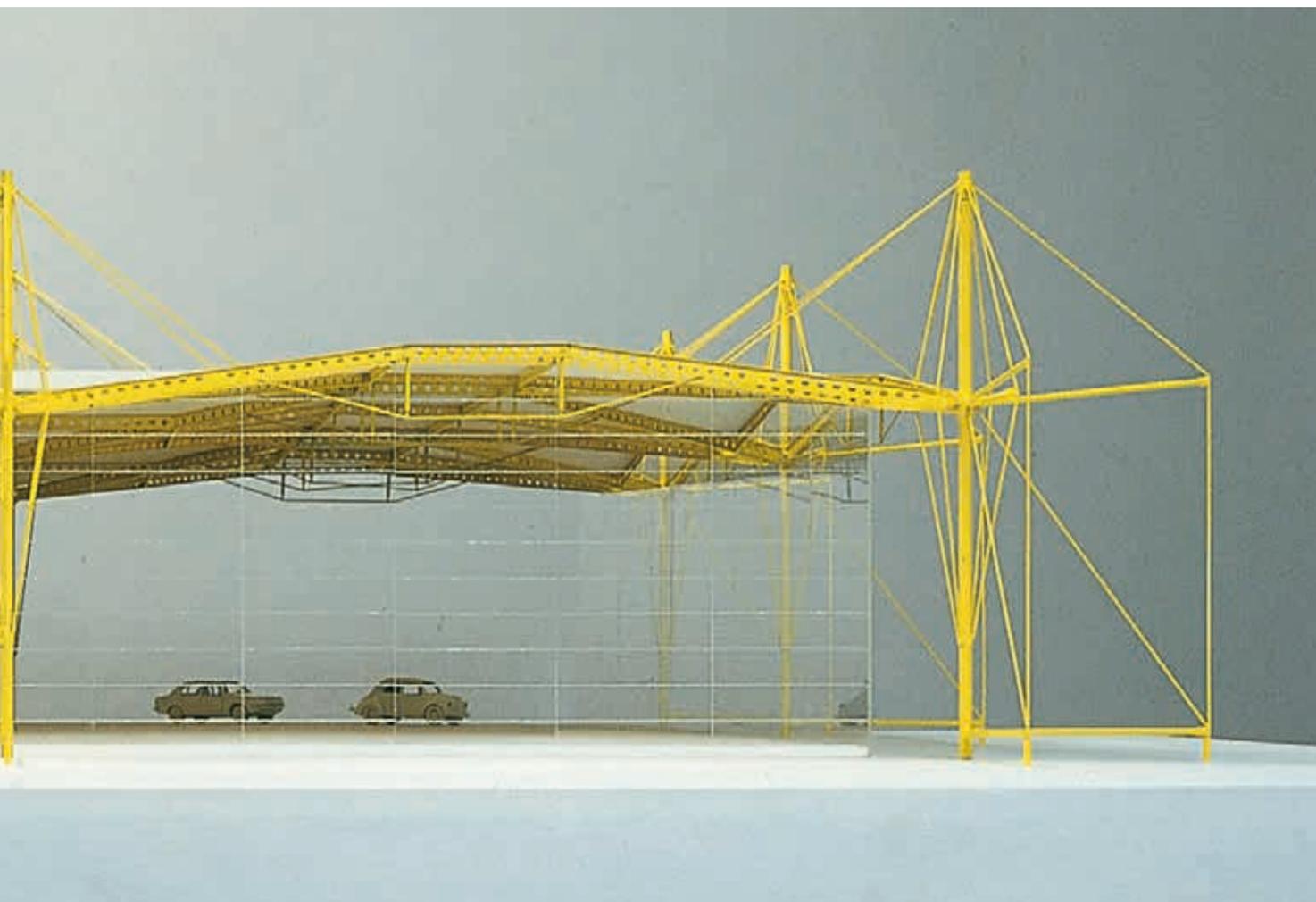
propri 100 volte inferiori rispetto alle strutture in cemento armato e 10 volte inferiori alle convenzionali strutture metalliche).

È proprio di Frei Otto la definizione che descrive l'elemento costruttivo alla base di ogni tensostruttura, la fune: "qualsiasi elemento sollecitabile a trazione ma largamente flessibile". Tale elemento, ben lontano da problemi di instabilità e, per sua natura, a "geometria variabile" per la sua rigidità unicamente estensionale, può essere molto leggero e porta quindi con sé un'implicita ottimizzazione del materiale impiegato.

Il metodo con cui le funi vengono impiegate, e di conseguenza il comportamento statico del sistema a cui

si giunge, determina la suddivisione delle tensostrutture in differenti tipi. Rientrano infatti in tale definizione le strutture strallate così come i sistemi sospesi (con copertura appesa o appoggiata), oltre alle travi di funi, alle reti di funi e alle tensostrutture a membrana.

Se da un lato, quando si pensa all'impiego di stralli, vengono subito alla mente gli emblematici (dal punto di vista della manifestazione esplicita del principio statico) ponti o passerelle, dall'altro le architetture, o meglio le coperture, che adottano tale principio per coprire spazi che necessitano di essere svincolati il più possibile da punti di appoggio e di avere ampie aree di movimento al loro interno, sono mol-





La tensostruttura dell'Allianz Stadium a Torino

teplici. Una delle più ricordate (in parte anche per la tutela che l'*English Heritage Trust* gli riserva in quanto edificio di interesse storico) è senza dubbio il Renault Distribution Centre di Swindon, progettato da Norman Foster nel 1982. Gli elementi strutturali collocati in mezz'aria e lungo il perimetro, che riprendono il colore della casa automobilistica francese, sostengono le travi che delimitano i 42 moduli di dimensioni 24x24 metri, senza interferire con lo spazio interno. È lo stesso principio che si può ritrovare, a diversa scala, nella copertura di travi reticolari in acciaio dell'Allianz Stadium di Torino, sostenuta da fasci di funi spirroidali che convergono su due cavalletti ad A, per poi proseguire esternamente fino a terra. Lo stadio rimane comunque l'ambito in cui, più di tutti, le tensostrutture sono state applicate e i soli esempi italiani ne sono una testimonianza: lo stadio Olimpico di Roma, lo Stadio delle Alpi di Torino, costruito per i Mondiali di calcio del 1990 così come lo stadio San Nicola di Bari, firmato da Renzo Piano.

Alla fune, in maniera più o meno vincolata, si appende e/o affianca la membrana, l'elemento tessile del sistema che separa fisicamente lo spazio interno dall'esterno e dalle relative condizioni climatiche e ambientali, nonché deputato a sostenere i carichi (vento, neve, carico da pre-tensione).

La membrana può essere sostenuta da singole funi, le quali mediano la connessione tra essa e gli alberi/pilastrini del sistema finalizzati a trasmettere alla fondazione i notevoli sforzi orizzontali (come avviene nel

progetto del terminal Hajj dell'aeroporto internazionale Re Abdulaziz di Jeddah, del 1981), da travi di funi oppure, come in buona parte delle realizzazioni, da reti di funi. Assume in tali casi particolare importanza la curvatura (solitamente doppia) data alla copertura attraverso l'incrocio ortogonale o romboidale delle funi.

Il padiglione della Repubblica Federale Tedesca progettato da Frei Otto per l'Expo del 1967 di Montreal è tra le prime applicazioni di una rete di funi sorretta da alberi puntuali di altezza e inclinazione variabili, accoppiata con una membrana traslucida (fili tessuti in poliestere immersi in una pasta polimerica in PVC) per riparare una pianta irregolare e asimmetrica. La stessa rete di funi con forma libera contraddistingue le coperture dell'Olympiapark di Monaco di Baviera, costruito per le Olimpiadi estive del 1972. La forma e la geometria della struttura è dunque diretta conseguenza dai comportamenti tensionali del sistema e permette di individuare e catalogare configurazioni di diverso tipo. Le strutture a cono o a punto alto, dette anche *radial tent*, si distinguono a loro volta per avere il punto più alto sostenuto dall'interno o tramite sostegni esterni. Costituiscono una diversa famiglia le strutture ad arco o archi, con forma di sella, che adottano il sistema Jawerth (sistemi stabilizzati con collegamenti inclinati), i paraboloidi iperbolici a doppia curvatura o *hypar*, strutture *ridge and valley* (letteralmente tradotto in "vette e valli"), a cui si aggiungono tutte le possibili combinazioni tra categorie diverse.



Photo credits: Angelo Franceschi

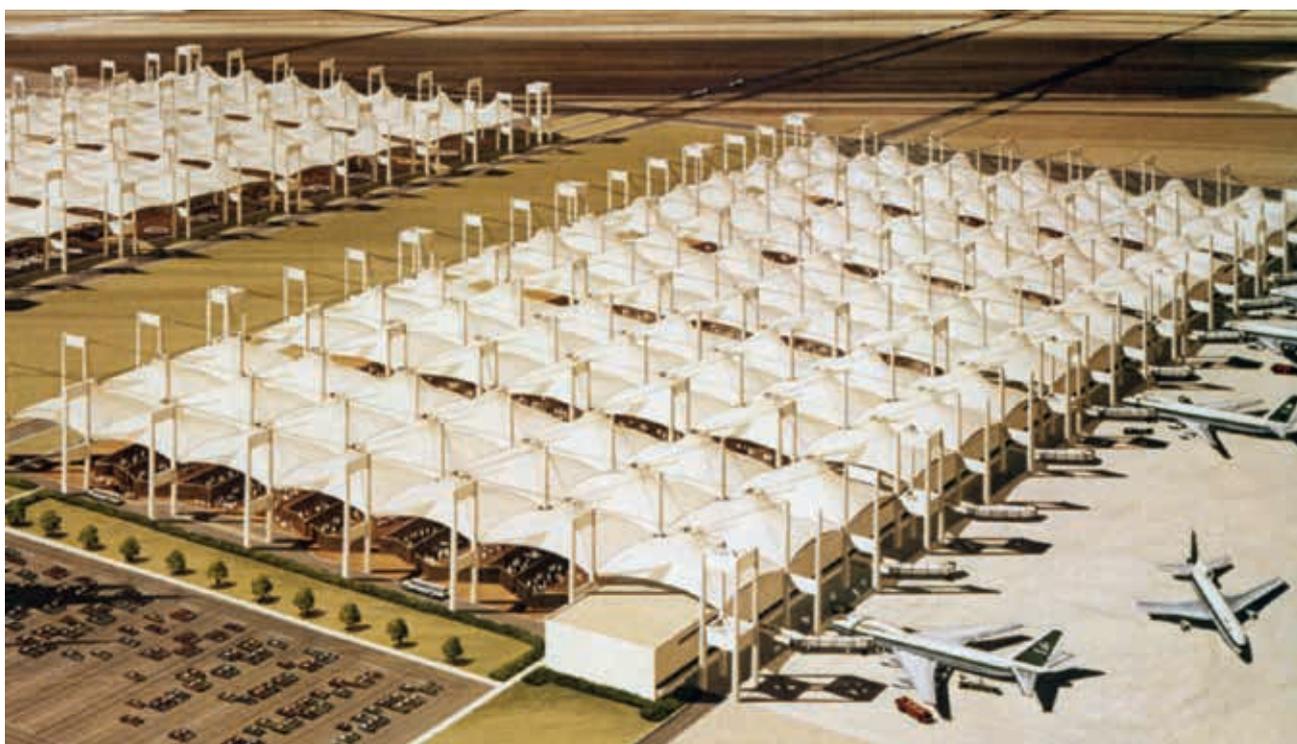
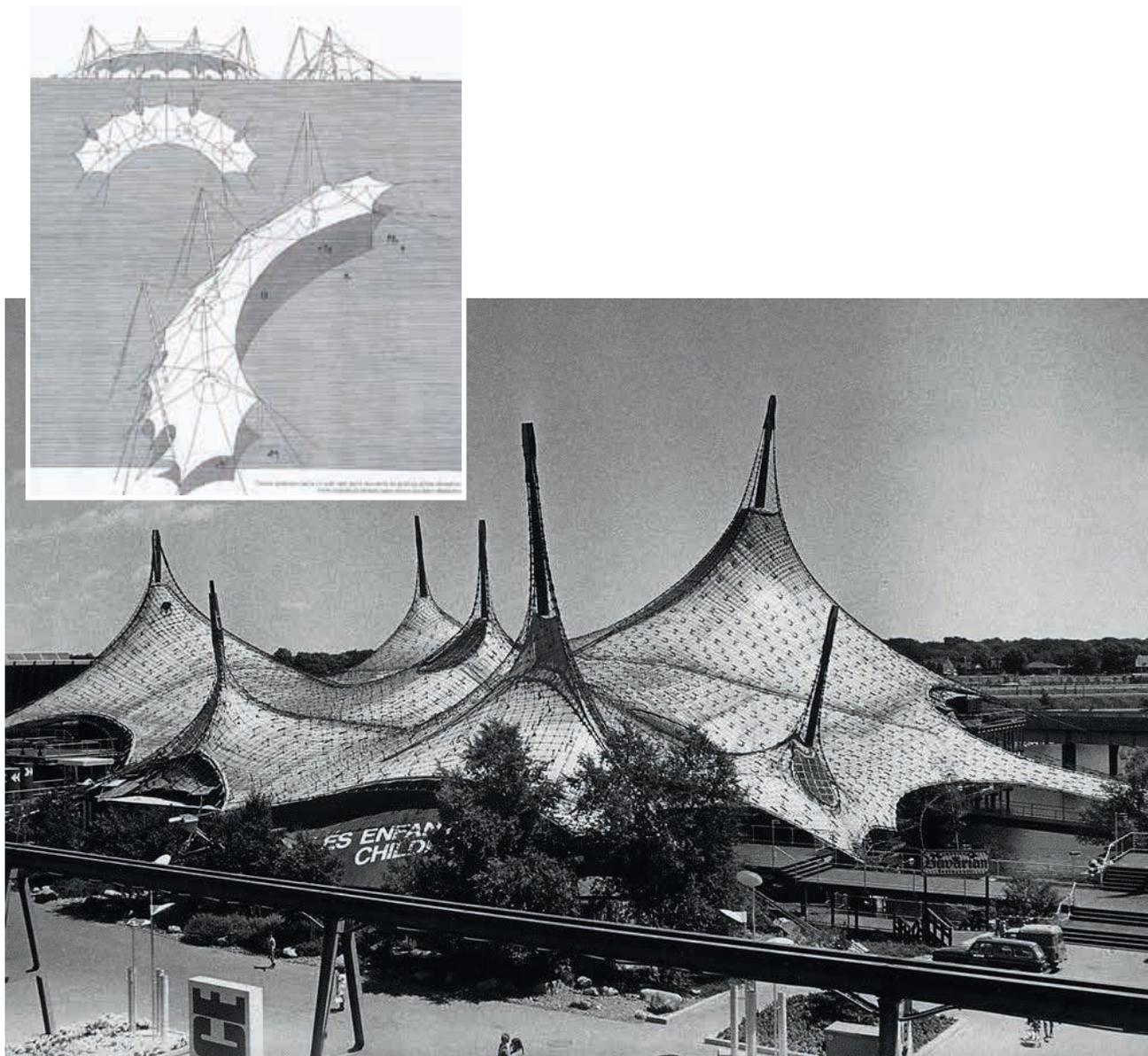


Photo credits: Jay Langlois

In tutti i casi citati assume una fondamentale importanza il punto di giunzione tra gli elementi. Innanzitutto il punto di collegamento tra le diverse funi (giunzione longitudinale, morsetto di rete, nodo deviatore o di bordo), che deve garantire solidità all'insieme e una corretta trasmissione delle tensioni. Al pari del primo il collegamento delle diverse parti della membrana (sia essa una cucitura o una saldatura), la scelta della trama tessile nonché la considerazione dei differenziati comportamenti meccanici degli elementi quando sottoposti a variazioni termiche cicliche o nel tempo (giornalmente o stagionalmente) oppure ai carichi previsti. Le forze interne e le deformazioni non lineari degli elementi determinano quindi ulteriori forme dipendenti dalla sollecitazione, alle quali si prova a opporre resistenza aumentando "artificialmente" la rigidità della membrana con un'adeguata pre-tensione della stessa. Tale azione permette all'elemento tessile di sostenere carichi maggiori e di assumere conformazioni diversamente non praticabili, ma diventa an-

cora più efficace quando l'oggetto della pre-tensione è la fune.

Ai sistemi a singola membrana si sono via via affiancati, negli anni e soprattutto con l'introduzione del materiale ETFE nell'ambito architettonico, sistemi pneumatici in cui la chiusura tra interno ed esterno viene affidata a cuscini polimerici. L'efficacia del sistema teso ha portato inoltre alla sua applicazione non solo in copertura ma anche in facciata e alla sua declinazione secondo diversi livelli di trasparenza o traslucenza, lavorando sulla scelta del materiale della membrana. Se infatti da un lato il sistema teso, soprattutto quello a rete di funi, permette tamponamenti opachi con lamiera grecate, materassini isolanti, arcarecci o manti di impermeabilizzazione, dall'altro non impedisce di raggiungere livelli di trasparenza più o meno alti con l'impiego di tessuti in fibre di poliestere, di composti vinilici, di vetro, di composti poliammidici. L'impermeabilizzazione è in questo caso assicurata tramite un rivestimento protettivo del tessuto in PVC, in composti di gomme sin-



Il padiglione Otto

tetiche, in PTFE, fondamentale anche per la stabilizzazione della geometria del tessuto, per la sua protezione da danneggiamenti e per la possibilità di realizzare giunti a caldo. La convenienza di un materiale rispetto all'altro diventa quindi l'esito di una messa a sistema di aspetti quali il modulo elastico, la durabilità (soprattutto in relazione ai raggi ultravioletti), l'infiammabilità.

L'utilizzo di tensostrutture con membrana ha dunque

rappresentato per un lungo periodo l'estremizzazione di un processo di alleggerimento tuttora in corso e allargato a molteplici ambiti dell'edilizia. La facilità di assemblaggio, nonché gli ottimizzati rapporti tra costo, prestazioni e durata, ne hanno inoltre fatto una soluzione di diffusa applicazione, in una sorta di processo a ritroso che dalle grandi strutture ha riportato agli spazi domestici e all'arredo urbano, che dalle grandi luci ha ri-avvicinato alla scala umana.

Note

(¹) Alle origini del termine tensegrali ci sono le figure dei tre studiosi Kenneth Snelson, David Georges Emmerich e Richard Buckminster Fuller, il quale afferma: "(...) ho semplicemente scoperto che l'Universo è discontinuo in maniera compressa e continuo in maniera tensionale. L'integrità strutturale dell'Universo è tensionale come scoprì Keplero. Ho dato a questi fenomeni il nome «tensegrale»".