

all'Università mi portò un suo libro che aveva in copertina l'immagine di una sua opera. Mi scappò detto: "Bellissima, Paolo, questa chiesa!". "È casa mia", rispose (casa Zermani, Varano dei Marchesi, Parma 1997). Io non dissi più nulla e comincio così la nostra collaborazione che ci ha portato a realizzare la scuola Europea di Parma (2019) da poco inaugurata. La scuola copre dall'asilo fino ai licei.

Alla fine di questa chiacchierata vorrei riportare una nota del professor Giulio Pizzetti che sintetizza bene il rapporto fra l'ingegnere e l'architetto che è un rapporto quasi sempre di amore e odio. All'inizio della sua carriera (Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura) Pizzetti, professore come me di Tecnica delle Costruzioni, parlava del difficile rapporto con gli architetti e terminava con l'esclamazione "Maledetti architetti!" (Pizzetti 1989). Ma dopo un po' di anni, dopo che aveva sperimentato la deriva tecnicistica legata alle elaborazioni automatiche del calcolo strutturale, allora ha apprezzato la libertà di pensiero, l'autonomia e la fantasia degli architetti.

"Per fortuna ci saranno sempre i nostri amici architetti a rompere, a piantare un casino irritante di idee, metodi e attere, a dirci che non siamo arrivati da nessuna parte, che niente 'perfectum est', che bisogna sempre inventare qualcosa e rimettere tutto in discussione perché non ci si può e non ci si deve mai accontentare, non si deve mai cessare di cercare, perché questa è l'unica via per progettare, perché questa è – in definitiva – l'unica maniera di fare il nostro difficile mestiere di uomini". E conclude il suo testo con l'esclamazione "Benedetti architetti!". Con questa esclamazione anch'io termino questa mia chiacchierata e vi ringrazio per l'attenzione.

Bibliografia

"Casabella", n. 727, novembre 2004 | Grassi G., *La nuova sede della Cassa di Risparmio di Firenze*, Scala, Firenze 2009 | Pizzetti G., *Maledetti architetti, benedetti architetti*, intervento al settantacinquesimo compleanno di Franco Levi, Politecnico di Torino, 1989 | *Superstudio. Opere 1966-1978*, a cura di Mastrigli G., Quodlibet, Macerata 2016.

Paolo Foraboschi

Innovazione

I

Innovazione nel settore delle strutture

Una prima categoria di innovazioni riguarda materiali, componenti, tecniche e sistemi – in breve, i prodotti da costruzione.

La definizione di questa categoria è legislativa, non linguistica: è innovazione tutto ciò che non rientra in una norma armonizzata. Una norma è detta “armonizzata” quando i suoi riferimenti sono pubblicati nella Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea, in relazione a una Direttiva. Le norme strutturali armonizzate sono emanate dal Comitato Europeo di Normazione (Cen). Le Norme armonizzate descrivono come verificare i requisiti fissati dalle Direttive in materia di sicurezza, salute e tutela dell’ambiente. In Italia, esse sono emanate dalla legislazione nazionale – per le strutture: le Norme Tecniche sulle Costruzioni (Ntc) – oppure sono il recepimento di norme europee – per le strutture: gli Eurocodici e i relativi annessi nazionali – o, anche, di norme extra-europee.

Una seconda categoria di innovazioni verte sulla concezione strutturale, sui criteri di progettazione e di analisi, sui tipi e le forme – in breve, sull’inventiva progettuale.

Per questa categoria, la definizione è quella corrente, che deriva dal latino *invenio*, il cui significato è trovare: scoprire soluzioni strutturali nuove.

Si hanno anche innovazioni sulle modalità costruttive e di varo, sui metodi di controllo e di monitoraggio, sulla manutenzione, sugli strumenti di progettazione e di calcolo. Nel settore strutturale, però, questi sono soltanto avanzamenti, poiché l’innovazione è nel settore da cui provengono.

Infine, le normative. Che l’evoluzione delle norme strutturali dia luogo a cambiamenti nel settore è fuori discussione (Pozzati 1992, pp. 709-715); in particolare, in Italia, l’Opcm 3274 del 2003 lo ha modificato drasticamente, come mai in quasi cento anni di norme strutturali era accaduto. Tanto che le normative da quella in poi possono essere denominate “di nuova generazione”. Che questi cambiamenti siano da ascrivere a un progresso è invece discutibile. L’aver riconosciuto l’effettiva pericolosità sismica delle zone italiane è stato sicuramente un avanzamento. Al contrario, i pesanti apparati teorici introdotti dalle normative di nuova generazione non garantiscono un livello di sicurezza maggiore rispetto alle normative precedenti e riducono l’ingegneria alla ragioneria (i due termini non fanno rima, ma solo una cacofonia).

A grandi linee, l’innovazione nel settore delle strutture può sembrare analoga a quella di tutti gli altri settori; a ben vedere, invece, presenta elementi che la differenziano fortemente. In tutti i settori, l’innovazione procede secondo il metodo *try and error*, poiché comporta sempre effetti imprevedibili o comunque non previsti. Nel settore delle strutture, tuttavia, sia la fase *try* sia la fase *error* assumono connotazioni ben diverse rispetto a qualsiasi altro settore.

Una cosa è provare una innovazione in una produzione seriale (industria, manifattura) oppure in applicazioni seriali (medicina,

biologia); ben altra cosa è provarla per le strutture, che sono sempre pezzi unici, uno diverso da tutti gli altri, dove l'innovazione si declina in modo differente a seconda della situazione specifica. Una cosa è provare una innovazione dopo averla testata in innumerevoli situazioni; ben altra cosa è provare una struttura, la quale ha dimensioni tali da consentire test solo parziali e limitati. Una cosa è un errore che comporta malfunzionamenti; ben altra cosa è un errore che comporta il crollo di una costruzione. Una cosa è un errore che viene individuato su manufatti la cui vita di servizio è di qualche anno, e quindi dopo poco tempo; ben altra cosa è un errore che viene individuato su manufatti la cui vita di servizio è di qualche decennio, quando l'innovazione è stata largamente applicata.

Fermo restando che il modo di procedere non può che essere *try and error* anche nel settore delle strutture, prima di adottare una innovazione strutturale occorrerebbe valutare quanto sia stata testata preliminarmente e quanto si discosti dalle applicazioni del passato; come pure, quali possano essere le sue conseguenze negative e dopo quanti anni.

Ciò non è stato fatto in passato. Logica conseguenza, tutte le principali innovazioni strutturali hanno dato luogo a collassi, causati da fenomeni non previsti; oppure ci sono andate molto vicino. Cui si aggiungono le sorprese negative che avremo in occasione dei futuri terremoti, a fronte di innovazioni nel settore della sismica immesse nel mercato forse un po' frettolosamente. Esempi di innovazioni che hanno dato luogo a crolli sono: l'acciaio da carpenteria, il telaio strutturale, le travature reticolari, il cemento armato precompresso, le bullonature, le saldature, gli edifici alti, i ponti sospesi, i ponti strallati, le travi miste acciaio-calcestruzzo, gli edifici a pilotis in zona sismica, la prefabbricazione in zona sismica, le costruzioni leggere, le strutture in parete sottile, i materiali compositi, il vetro strutturale.

Emblematico è il caso delle dighe a gravità. Il loro funzionamento sembra semplicissimo. In realtà, una diga comporta un fenomeno di non immediato riconoscimento: le sottopressioni, le quali riducono la resistenza al ribaltamento e allo scorrimento. Agli inizi (primi decenni del Novecento), il fenomeno non era stato previsto e più di qualche diga a gravità collassò. Solo dopo alcuni crolli, quelle che prima erano cause occulte di fenomeni luttuosi – le sottopressioni idrauliche – furono scoperte e divennero parte delle azioni di progetto.

Una delle poche eccezioni è il cemento armato. Tuttavia, se è vero che il cemento armato non ha fatto morti in modo sistematico e diretto, è però anche vero che ha richiesto e richiede miliardi di euro/dollari all'anno per il ripristino, poiché i fenomeni che dettano la durabilità sono diventati noti solo sul campo, a partire dagli anni Settanta, e la durabilità rientra pienamente tra gli obiettivi della progettazione solo dalla fine degli anni Novanta.

L'innovazione nel settore strutturale è connotata da un altro aspetto: spesso si tratta di un qualcosa che già esisteva molto tempo prima e che, semplicemente, viene riproposto in un diverso contesto. Un esempio è l'edificio alto con struttura a *diagrid*. Quel tipo strutturale è comparso sulla scena urbana nel 2004, per opera di Norman Foster, con l'edificio 30 St Mary Axe a Londra, seguito, nel 2006, dalla Hearst Tower, a New York, sempre di Foster. Questi due edifici hanno fornito un modello che è poi stato adottato in un largo numero di edifici alti, alcuni di questi, opera di Pritzker Architecture Prize. Però l'innovazione è solo nell'uso del *diagrid* nell'edificio alto. Infatti, il *diagrid* in sé era stato proposto nel 1896 dall'ingegnere russo Vladimir Grigor'evič Šuchov, il quale, per l'esposizione di Niznij Novgorod (Gorkij, Russia), progettò e costruì un serbatoio a *diagrid* (tutt'ora esistente, spostato in un altro luogo) e un padiglione, sempre a *diagrid*.

Talvolta l'innovazione nel settore strutturale è la mera riconfigurazione di una tecnica nota da anni. Un esempio è il rinforzo del cemento armato mediante materiali compositi, che altro non è se non il *béton plaqué* con l'acciaio rimpiazzato dai nastri in composito e dall'incollaggio epossidico, ottenendo così una tecnologia assai meno invasiva e molto più facile da mettere in opera rispetto al *béton plaqué*.

Naturalmente le innovazioni che ripropongono qualcosa che già c'era non sono meno rischiose di quelle che propongono qualcosa di completamente nuovo.

Ci si deve allora domandare quanto l'innovazione nel settore delle strutture possa spingersi in avanti. La risposta sarebbe: finché la fase *try* è adeguata e la fase *error* è commisurata. Sennonché tale risposta è qualitativa e generica, se non tautologica. Il giudizio sull'idoneità dell'innovazione può essere dato solo da enti terzi.

Che è appunto ciò che accade. Le innovazioni sui prodotti da costruzione debbono essere valutate da enti appositi e debbono essere corredate di idonee certificazioni che ne legittimino l'uso nel settore strutturale: Certificati di Valutazione Tecnica (Cvt), rilasciati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; European Technical Assessment (Eta), rilasciati da Technical Assessment Bodies (Tabs); marcatura Ce.

Questi enti e queste certificazioni dovrebbero dare le dovute garanzie di sicurezza. In realtà non possono ovviamente garantire nei confronti di effetti perniciosi occulti e imprevedibili. Sennonché, come già osservato, quegli effetti ci sono sempre nelle innovazioni strutturali, e possono essere esiziali. Anziché demandare il controllo alla burocrazia, accorrerebbe invece ponderare il rischio con metodologie probabilistiche, cosa che quelle procedure non considerano. La "verità" è un limite al quale la scienza può avvicinarsi, ma non potrà mai raggiungere: anche ammettendo l'esistenza della causalità naturale, non si può parlare di certezza di un evento, ma soltanto

di una più o meno grande probabilità del suo verificarsi. Anche per questo, bisognerebbe prescrivere progettazioni *fail safe*, cosa che le normative ancora non contemplano (l'unica norma che impone una progettazione *fail safe* è quella sul vetro strutturale). Ma soprattutto, dovrebbero essere arricchiti i rapporti fra la tecnica e la scienza, e di entrambe con la cultura, in particolare con l'etica e le responsabilità (Pozzati 1992, pp. 619-633; Pozzati, Palmeri 2007; Chiarugi 2009).

In più, siccome i processi per ottenere il Cvt, l'Eta o la marcatura Ce sono lunghi e costosi, l'innovazione sui prodotti da costruzione avviene solo da parte delle aziende che hanno la forza per assorbire gli oneri dei processi di certificazione, mentre chi avrebbe spunti di inventiva ma non ha tale forza non può permettersi di impegnarsi nell'innovazione.

Insomma, le certificazioni così come vengono rilasciate, da un lato non danno adeguate garanzie di sicurezza ma sono soltanto ciò che chiamiamo burocrazia; dall'altro lato, inibiscono l'ingegnosità di tanti. Cui si aggiunge che i brevetti sulle innovazioni nei prodotti da costruzione sono poco difendibili, e anche questo frena l'innovazione dei singoli.

Per quanto riguarda l'innovazione sull'inventiva progettuale, la situazione è più netta ma peggiore.

In Italia, un progetto strutturale deve ricevere l'approvazione dei competenti Uffici tecnici, in particolare deve essere rilasciata la Autorizzazione sismica. Purtroppo, questi uffici spesso richiedono numerose e ampie integrazioni e modifiche al progetto e alla relazione di calcolo, e il rilascio della Autorizzazione sismica talvolta richiede anni.

Inoltre, i progetti di opere pubbliche dal 2006 richiedono la Validazione da parte di un soggetto accreditato (Validatore). Quasi sempre il Validatore formula una pletora di richieste di integrazione, il cui soddisfacimento comporta la perdita di tanto tempo ai progettisti.

Logica conseguenza, da anni, il progetto strutturale preferisce adottare soluzioni standard, di prassi, stereotipate, di routine: le soluzioni che più facilmente ricevono l'Autorizzazione sismica e la Validazione.

Si può affermare che tutti i controlli imposti negli ultimi vent'anni ai progettisti hanno avuto tanti effetti negativi, senza però migliorare la qualità del costruito: oltre ad aver inibito l'innovazione, hanno creato un equivoco gioco di responsabilità, e hanno comportato l'incremento dei tempi e dei costi di progettazione e costruzione.

Se il nostro Paese riducesse all'essenziale le certificazioni sui prodotti da costruzione e abolisse quei controlli sulla progettazione, il Prodotto Interno Lordo (Pil) incrementerebbe apprezzabilmente, senza alcuna riduzione né della sicurezza né della qualità del costruito.

Oltre a ciò, tali interferenze hanno limitato l'attività e il raggio d'azione dell'unica figura che dovrebbe avere titolo per controllare e certificare il progetto e la costruzione, innovazioni comprese: il Collaudatore. Dal R. D. 16.11.1939 n. 2229, le norme strutturali italiane prevedono la figura del Collaudatore e richiedono il collaudo statico delle costruzioni. Il termine "collaudo" proviene dal latino *cum* (insieme) e *laudare* (lodare); giudicare un'opera regolarmente eseguita. Certificazioni e controlli ulteriori al collaudo sono più dannosi che inutili.

In sintesi, attualmente l'innovazione nel settore strutturale riguarda essenzialmente i prodotti da costruzione e le normative, ma poco il progetto. Per di più, le innovazioni sui prodotti da costruzione vengono progettate e analizzate con *software* forniti dalle aziende produttrici. Per cui non sempre il progettista ne acquisisce piena consapevolezza.

Ciò nondimeno, pur in un contesto normativo e burocratico che non favorisce l'innovazione, la velocità di avanzamento del settore è comunque assai elevata, poiché il contesto economico è invece favorevole. A titolo di esempio: un professionista che, per qualche motivo, decidesse di non svolgere la professione per cinque anni, al suo rientro scoprirebbe che le sue competenze sono diventate obsolete.

Guardando le cose in controluce si scopre una stortura: l'ambiente in cui le innovazioni nel settore delle strutture vengono ideate e sviluppate non è quello accademico. L'università contribuisce all'innovazione solo in ragione dei suoi laboratori accreditati, i quali hanno titolo per certificare le prestazioni.

Questa aberrazione è la logica conseguenza di come l'università, da qualche anno, valuta l'attività scientifica di ciascun ricercatore: in base al numero di pubblicazioni su rivista e in base al numero di citazioni sia delle pubblicazioni sia delle riviste su cui sono pubblicate. Il risultato è che la ricerca universitaria è deviata verso il mero soddisfacimento di quel criterio di giudizio. Per cui la quasi totalità delle pubblicazioni nel settore delle strutture non aggiunge niente alle conoscenze: prodotti cosiddetti scientifici inutili alla cultura, alla professione o all'industria, consistenti in applicazioni acritiche di *software* o di formulazioni classiche, astrusi artifici matematici avulsi dalla realtà, sperimentazioni senza interpretazioni spesso usate solo per calibrare modelli spacciati per previsionali. Cui si aggiunge che molti ricercatori non praticano la professione.

Il già menzionato rinforzo delle strutture in cemento armato mediante materiali compositi costituisce un esempio, tra i tantissimi: migliaia di articoli sul tema che, salvo eccezioni, non considerano la carbonatazione del copriferro, e quindi altro non sono se non un inutile spreco di lavoro.

Nessun altro settore ha migliorato la qualità della vita più di quanto abbia fatto, da sempre, il settore delle strutture; e le innovazioni

strutturali hanno fatto la storia, non solo del settore, ma dell'umanità. Si pensi alla cupola di Santa Maria del Fiore, a Firenze (Chiarugi 1984; Chiarugi, Quilghini 1984). Il progetto architettonico fu concepito da Arnolfo di Cambio (1294) e sviluppato da Francesco Talenti (1350). Sennonché, nessuno aveva idea di come realizzare quel progetto. Ci riuscì Filippo Brunelleschi, tanti decenni dopo, con una doppia innovazione: la prima fu la separazione e l'anticipazione del progetto rispetto alla costruzione (dunque, Brunelleschi, con il suo progetto della cupola del 1418, fu il primo ingegnere strutturalista della storia); la seconda fu una concezione strutturale innovativa (soprattutto l'apparecchiatura *a corda branda* e la struttura *a sandwich*). Brunelleschi fu anche il Direttore dei Lavori, che iniziarono nel 1420 e terminarono nel 1436, a parte la lanterna, realizzata nel 1471, dopo la sua morte. Ebbene, il mondo contemporaneo percepì l'opera come un enorme balzo in avanti. Sia la cupola in sé sia soprattutto l'innovazione che la aveva generata ebbero una grande risonanza, tale da originare uno dei più importanti movimenti culturali della storia, e non solo in Italia e non solo in architettura: il Rinascimento.

Affinché il settore delle strutture rimanga centrale nella nostra società, continuando a migliorare la qualità della vita, occorre favorire l'innovazione: fare sì che l'ingegno del progettista non sia inibito, che il ricercatore universitario torni a lavorare su tematiche centrali alla costruzione, e che il progetto strutturale sia promotore di innovazioni, cessando di essere a rimorchio delle aziende. Così come era in passato.

Bibliografia

Chiarugi A., *L'etica nella professione di ingegnere: il ruolo dell'Ordine*, in "Bollettino Ingegneri", n. 12, Firenze 2009 | Chiarugi A., *La cupola del Brunelleschi. Problemi di tracciamenti e costruzione: il modello dell'ACMAR*, in "Ingegneri Architetti Costruttori", giugno-settembre 1984, pp. 31-37 | Chiarugi A., Quilghini D., *Tracciamento della cupola del Brunelleschi. Muratori e geometria*, in "Critica d'Arte", XLIX, s. IV, n. 3, 1984, pp. 38-47 | Pozzati P., *Raccolta di scritti di Piero Pozzati*, Istituto di Tecnica delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria della Università di Bologna, Labanti&Nanni, Bologna 1992 | Pozzati P., Palmeri F., *Verso la cultura della responsabilità. Ambiente, tecnica, etica*, Edizioni Ambiente, Milano 2007.

Massimo Viviani

Innovazione II

Il viadotto Polcevera. L'innovazione dei tiranti presolleccati

Quando nel 1967 fu inaugurato il viadotto sulla valle del Polcevera, su progetto dell'ing. Riccardo Morandi, le strutture da ponte mostrarono