

L'IU

L'INGEGNERE UMBRO



PERIODICO DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA

PUBBLICITÀ



Su

SOMMARIO



In copertina:

Suggestiva immagine della Giostra della Quintana di Foligno (PG) - edizione di giugno 2019

(Fotografia: Ente Autonomo Giostra della Quintana di Foligno)

5 **INTERRIMENTO DEGLI INVASI ARTIFICIALI: UN PROBLEMA CHE ATTENDE SOLUZIONI SOSTENIBILI**

Il problema dell'interrimento degli invasi artificiali ha estensione planetaria, pur presentando aspetti alquanto diversi a seconda delle caratteristiche di ciascuna zona.

Alessia Flammini, Carla Saltalippi, Renato Morbidelli

12 **INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NEL BACINO DEL FIUME NERA A BORGO CERRETO**

Importante esempio di progettazione che coniuga Ingegneria e Architettura idraulica

Remo Chiarini e Vincenzo Giovannini

18 **L'ANALISI DEL CICLO DI VITA DEGLI EDIFICI**

Il settore delle costruzioni è fonte di significativi impatti in termini di consumi di energia e di emissioni di gas serra

Francesco Asdrubali

23 **IL RUOLO DI CENTRALITÀ DEL COMMITTENTE NEL CANTIERE EDILE**

La Normativa e la Giurisprudenza a 10 anni dall'entrata in vigore del Testo Unico per la Sicurezza: parola alla Cassazione

Andrea Galli

27 **I NUOVI PERICOLI NELLE AUTORIMESSE CON INFRASTRUTTURE DI RICARICA DI VEICOLI ELETTRICI**

La normativa italiana per le infrastrutture, per la ricarica dei veicoli elettrici, ha affrontato il loro possibile rischio di incendio e/o di esplosione

Giovanni Paparelli

L'INGEGNERE UMBRO - n°110 – anno XXVII – Settembre 2019

Direttore Responsabile: Giovanni Paparelli

Redattore Capo: Alessio Lutazi

Segretario di Redazione: Alessandro Piobbico

In Redazione: Livia Arcioni, Federica Castori, Raffaele Cericola, Giulia De Leo, Michela Dominici, Giuliano Mariani.

Collaboratori: Francesco Asdrubali, Paolo Belardi, Simone Bori, Michele Castellani, Guido De Angelis, Lamberto Fornari, Pietro Gallina, Antonello Giovannelli, Renato Morbidelli, Massimo Pera, Enrico Maria Pero, Alessandro Rocconi, Carla Saltalippi, Gianluca Spoletini.

Hanno collaborato inoltre a questo numero: Andrea Galli, Remo Chiarini, Alessia Flammini, Vincenzo Giovannini,

Grafica e impaginazione: Le Mani di Mary S.r.l. - Perugia.

Stampa e Pubblicità: Litograf Todì s.r.l.

Questo numero è stato stampato in 6000 copie.

La Rivista viene inviata in abbonamento gratuito a chiunque ne fa richiesta. L'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione. Le informazioni custodite verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati la Rivista e gli allegati (legge 196/03 - tutela dei dati personali). Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione anche parziale, eseguita con qualsiasi mezzo, di ogni contenuto della Rivista, senza autorizzazione scritta. Sono consentite brevi citazioni con l'obbligo di menzionare la fonte. Testi, foto e disegni inviati non saranno restituiti.

PUBBLICITÀ

INTERRIMENTO DEGLI INVASI ARTIFICIALI: UN PROBLEMA CHE ATTENDE SOLUZIONI SOSTENIBILI



Il problema dell'interrimento degli invasi artificiali ha estensione planetaria, pur presentando aspetti alquanto diversi a seconda delle caratteristiche di ciascuna zona

di Alessia Flammini
Carla Saltalippi
Renato Morbidelli

Il problema del progressivo interrimento degli invasi artificiali, per effetto della sedimentazione di materiale solido, ha estensione planetaria, pur presentando aspetti alquanto diversi a seconda delle caratteristiche idrologiche e climatiche e delle condizioni economiche e sociali di ciascuna zona.

Da questo punto di vista, la situazione di zone geografiche con clima estremo e forti processi erosivi è molto più seria di quella di zone con clima temperato.

Tuttavia in molte aree con clima tropicale, a causa di limitate risorse economiche, le infrastrutture per la raccolta dell'acqua sono presenti in misura ancora modesta. Per queste aree è quindi prevalente la necessità di costruire nuove dighe, per le quali esistono ancora numerose possibilità di realizzazione. Nelle aree industrializzate, al contrario, i siti con rilevanti potenzialità di accumulo

sono praticamente esauriti, per cui diventa fondamentale la conservazione della capacità di invaso esistente e possibilmente il recupero dei volumi perduti a causa dell'interrimento.

Per chiarire le cause del fenomeno, si puntualizza che l'interrimento degli invasi artificiali è una diretta conseguenza della presenza, in un alveo, di un'opera di sbarramento (diga o traversa) (Fig. 1).

Il materiale solido che nel tempo si accumula sul fondale degli invasi deriva dall'erosione superficiale del suolo nel bacino sotteso dallo sbarramento e dal trasferimento verso valle operato dal reticolo idrografico; l'entità e la velocità di accumulo dipendono dalle caratteristiche idrologiche del bacino, dal regime fluviale del corso d'acqua intercettato e dalle caratteristiche geo-morfologiche del bacino stesso. La rilevanza del problema è, ovviamente, anche

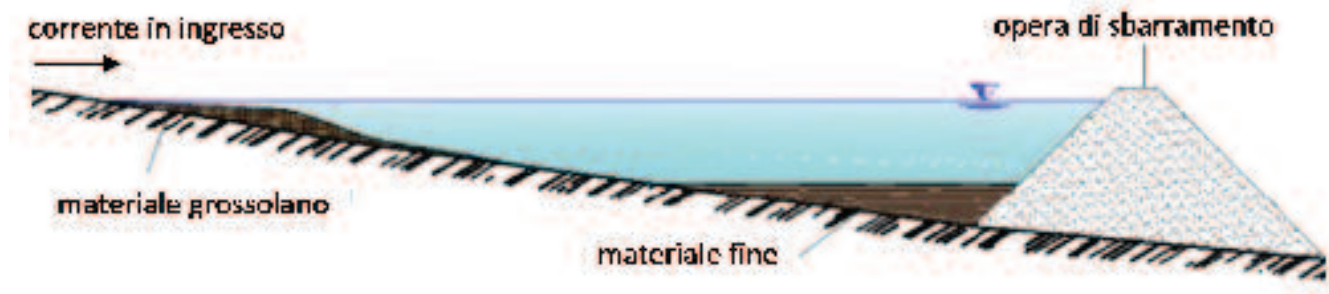


Fig. 1 - Rappresentazione schematica dell'accumulo di sedimenti in un invaso visto in sezione longitudinale

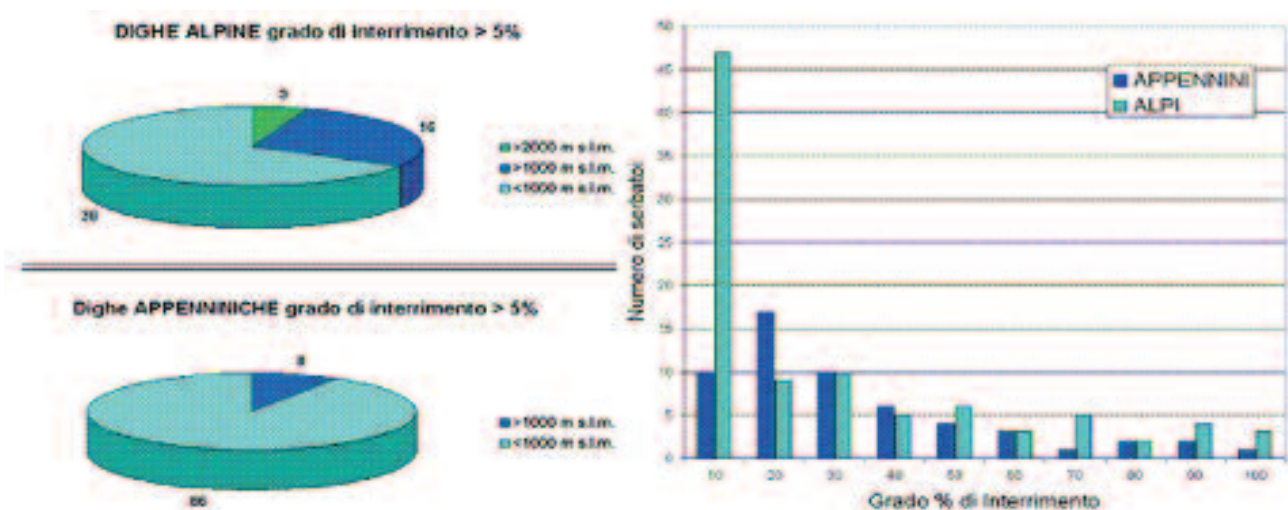


Fig. 2 - Serbatoi con interrimento > 5% in funzione della quota suddivisi per macro-aree omogenee (sx); Distribuzione delle frequenze del grado di interrimento dei serbatoi analizzati (dx) (da Bizzini et al., 2010)

correlata all'età dei serbatoi esistenti, cioè al numero di anni intercorsi dalla realizzazione dell'opera ad oggi. Il parametro fondamentale che quantifica l'entità del fenomeno è rappresentato dal tasso percentuale medio annuo di interrimento o perdita di capacità di invaso che è definito come il rapporto tra il volume di interrimento medio annuo ed il volume di invaso al tempo iniziale. Il controllo dello stato di interrimento di un invaso artificiale avviene mediante monitoraggio batimetrico che restituisce un rilievo del fondo dello stesso. Questo strumento consente di ricavare non solo la stima della residua capacità dell'invaso, ma anche la reale distribuzione dei sedimenti sul fondo, nonché lo stato di efficienza delle opere di scarico dello sbarramento.

L'effettuazione di rilievi batimetrici nello stesso invaso con cadenza periodica, permette inoltre di caratterizzare l'evoluzione del processo nel tempo, fornendo utili indicazioni per eventuali interventi di recupero della capacità di invaso.

La situazione in Italia

Secondo i dati del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, attualmente sono presenti sul territorio

nazionale 541 grandi dighe (volume d'invaso maggiore di 1.000.000 m³, altezza maggiore di 15 m) sottoposte alla vigilanza della Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, di età media prossima a 60 anni, e migliaia di piccole dighe di competenza regionale e locale. L'utilizzazione prevalente delle grandi dighe è quella idroelettrica (58%) ed irrigua (26%); la restante percentuale è ripartita tra uso potabile (7%), industriale (3%), laminazione ed altro.

La capacità d'invaso totale è di circa 14 Km³ (Pascucci & Tamponi, 2013). Il Comitato Nazionale Italiano per le Grandi Dighe (ITCOLD) ha effettuato una stima dell'entità complessiva dell'interrimento dei serbatoi italiani utilizzando le informazioni di 285 serbatoi (52% del totale), suddivisi per

due macro-aree (Alpi e Appennini) e corrispondenti ad un volume complessivo di invaso potenziale di 7,35 Km³, pari a circa il 55% del volume totale di accumulo potenziale di tutte le grandi dighe italiane (Bizzini et al., 2010).

Più della metà dei serbatoi analizzati (53%, 151 su 285) risultano interriti con una riduzione del volume di invaso superiore al 5% del volume originario di progetto; inoltre, circa un terzo dei serbatoi interriti mostra un grado percentuale di interrimento superiore al 40% (Fig. 2). In generale gli invasi che presentano i maggiori problemi sono quelli localizzati alle quote inferiori a 1000 m s.l.m. Tenuto conto della vita media piuttosto elevata delle grandi dighe italiane e dell'entità del problema su scala nazionale, il legislatore ha promulgato il Decreto Ministeriale 30 Giugno 2004 che impone all'ente gestore dell'invaso di redigere un "Progetto di gestione" degli invasi, ai sensi dell'art. 40, comma 2, del Decreto Legislativo 11 Maggio 1999, n. 152 e successive modifiche ed integrazioni. Il Progetto di gestione rappresenta uno strumento programmatico volto ad assicurare il mantenimento o il ripristino della capacità del serbatoio attraverso interventi di ridu-

L'interrimento determina una progressiva riduzione di capacità di invaso dei serbatoi artificiali

zione preventiva del materiale in ingresso all'invaso, azioni di asportazione del materiale presente e un'ottimale gestione del serbatoio.

Soluzioni proponibili

Poiché un vaso artificiale entra a far parte della dinamica geomorfologica del contesto in cui si inserisce, risulta chiaro che il processo di interrimento non può essere evitato; è tuttavia possibile intervenire con provvedimenti che consentono, sia in fase progettuale, sia in corso d'opera, di minimizzarne gli effetti. Per i serbatoi già esistenti la riduzione dell'apporto solido può essere perseguita tramite l'adozione di politiche di sistemazione del bacino sotteso dall'opera di sbarramento finalizzate al controllo del processo di erosione. Queste comprendono la realizzazione di opere idrauliche come briglie di ritenuta, sistemazioni idraulico-forestali, ma anche l'adozione di pratiche agricole mirate ad una migliore conservazione del suolo. Queste ultime, sebbene con

effetti positivi di lungo termine, risultano sempre strategiche, essendo proprio il territorio abbandonato o coltivato con tecniche non appropriate la principale fonte di materiale solido eroso che viene poi trasferito verso valle. Negli invasi esistenti già fortemente interrati risulta necessario ricorrere ad interventi di rimozione del materiale, o sfangamento, che possono essere realizzati con varie metodologie in funzione delle dimensioni del serbatoio, della quantità e delle caratteristiche fisico-chimiche del materiale, del grado di accessibilità dell'area d'intervento, dei vincoli normativi e anche dell'aspetto economico. Interventi di sfangamento possono essere realizzati attraverso azioni di spurgo o fluitazione, che consentono il rilascio a valle dei sedimenti attraverso gli scarichi di fondo per trascinalimento nella corrente idrica, in condizioni di bacino pieno o vuoto, rispettivamente. Oppure attraverso asportazione del materiale a serbatoio pieno (per mezzo di sistemi di dragaggio)

o a serbatoio vuoto (con più semplici mezzi meccanici). Successivamente, in base alla caratterizzazione chimico-fisica del materiale asportato, deve anche essere definita la destinazione finale dei sedimenti rimossi. Val la pena ricordare che lo smaltimento di tali fanghi costituisce un gravoso problema di carattere ambientale in un quadro normativo non sempre esaustivo, oltretutto una voce di costo significativa.

Il caso dell'invaso artificiale Le Grazie nel comune di Tolentino (MC)

Il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale (DICA) dell'Università degli Studi di Perugia ha recentemente affrontato lo studio della problematica dell'interrimento dell'invaso artificiale Le Grazie, situato nel Comune di Tolentino, in provincia di Macerata. Tale serbatoio è caratterizzato da un'opera di sbarramento di tipo misto sull'asta del fiume Chienti, composta da una struttura di calcestruzzo nella quale sono alloggiati gli

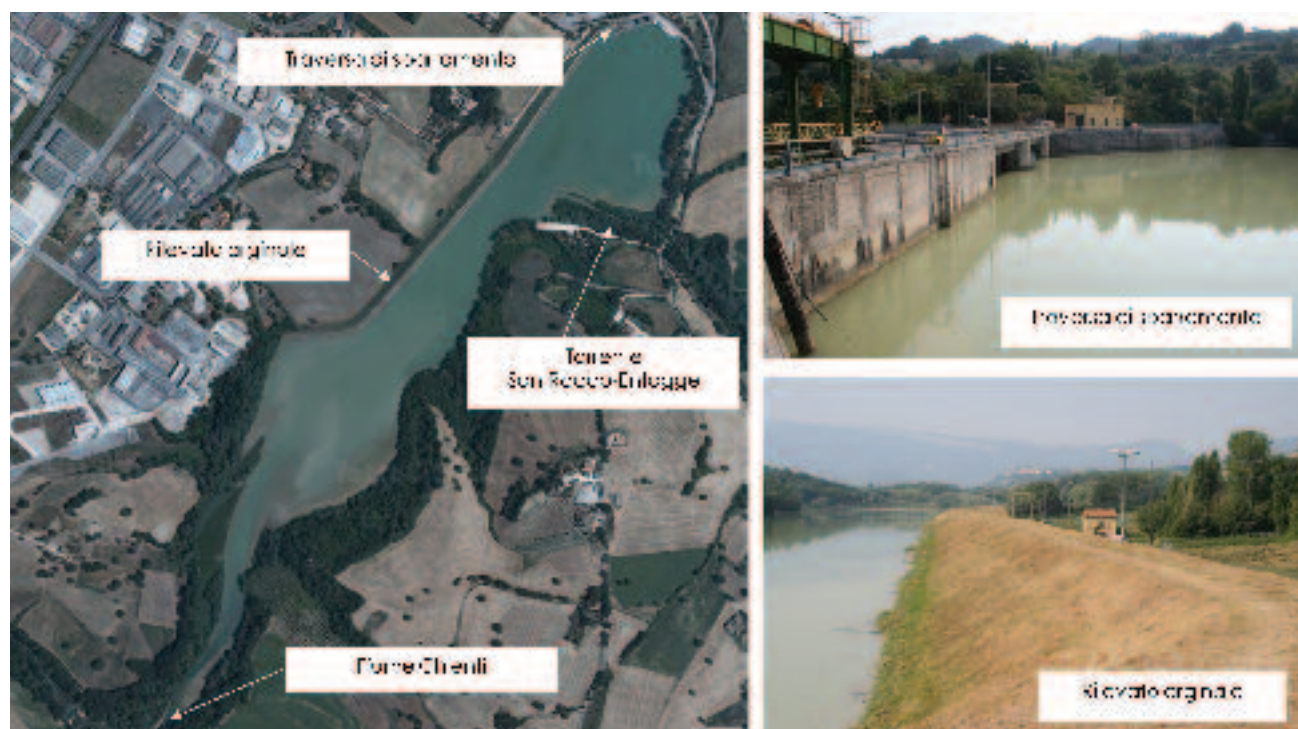


Fig. 3 - Ortofoto e scorci dell'opera di sbarramento e del lago Le Grazie, Tolentino (MC)



Fig. 4 - Attività di sfangamento presso il lago Le Grazie di Tolentino in corso di realizzazione: (a) escavatore con benna a valve posizionato su un mezzo nautico; (b) sistema di tramoggia e nastro trasportatore per il sormonto del rilevato arginale e il conferimento del sedimento nel punto di stoccaggio

organi di scarico e da un rilevato arginale in materiali sciolti (Fig. 3). I lavori di realizzazione dell'opera, progettata per la produzione di energia elettrica e (successivamente) per uso potabile, sono stati ultimati nel 1963 e pertanto essa ha superato i 50 anni di età. La gestione della diga del lago Le Grazie è affidata all'Azienda Specializzata Settore Multiservizi S.p.A. (ASSM) di Tolentino. L'invaso, a fronte di un'iniziale capacità di vaso di $1.770.000 \text{ m}^3$ ai sensi della L. 584/1994, presenta un elevato grado di interrimento come dimostrato dai risultati dei rilievi batimetrici eseguiti nel 2006 e nel 2015 che hanno consentito di stimare una riduzione di capacità d'invaso proiet-

tata al 2018 di 876.950 m^3 , con un interrimento medio annuo di circa 16.000 m^3 , nonché una potenziale compromissione dell'operatività degli organi di scarico parzialmente occlusi dal sedimento accumulato. Il processo di sedimentazione del materiale solido ha riguardato l'intera superficie del fondo del lago ed è imputato agli apporti di sedimento per trasporto di fondo e in sospensione dal fiume Chienti e dal torrente San Rocco-Entogge che si immette in destra idrografica nel lago poche centinaia di metri prima dell'opera di sbarramento (Fig. 3). In particolare, il torrente San Rocco-Entogge, che attraversa un'area di $12,6 \text{ Km}^2$ con vocazione ad agricoltura estensiva con

lavorazioni meccaniche pesanti e colture che non hanno la caratteristica di trattenere l'acqua meteorica, in occasione di precipitazioni intense drena verso il lago ingenti quantitativi di materiale prodotti dal dilavamento dei terreni. Questo processo ha determinato un deposito consistente di materiale in prossimità del punto di sbocco del torrente, dove la sedimentazione è favorita a causa della riduzione della velocità, e un rilevante restringimento del lago.

La caratterizzazione del materiale sedimentato nel lago, realizzata in varie campagne di campionamento, ha evidenziato la possibilità di utilizzo dello stesso per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e una composizione granulometrica di tipo limo-argillosa.

L'analisi effettuata dal DICA può riassumersi nei passi elencati di seguito. Un primo contributo ha riguardato la definizione delle modalità operative di realizzazione di un intervento di sfangamento parziale dell'invaso, con asportazione a bacino pieno del materiale sedimentato a ridosso del corpo diga (circa 60.000 m^3), intervento "urgente" in attuazione dei dettami del "Decreto Salva Italia" D.L. n. 201 del 6/12/2011 per le grandi dighe con scarichi ostruiti o a concreto rischio di ostruzione, per garantire la pervietà degli organi di scarico e la sicurezza idraulica dell'opera in occasione di eventi intensi. Tale intervento, tra i primi di questa tipologia realizzati nel Centro Italia, è attualmente in fase di completa-

Costosi interventi di rimozione del materiale consentono il parziale recupero della capacità di vaso

mento e ha coinvolto un escavatore con benna a valve posizionato su un mezzo nautico e un pontone modulare con elementi metallici la cui movimentazione è realizzata attraverso un rimorchiatore (Fig. 4a).

L'asportazione dei sedimenti dal fondo è effettuata attraverso la benna dell'escavatore collegata con una fune di sollevamento. Il trasporto dei sedimenti utilizza un cassone di carico drenante posizionato sul pontone e poi un sistema di tramoggia e nastro per il sormonto del rilevato arginale e il raggiungimento del punto di stoccaggio nell'area idonea per la sistemazione definitiva (Fig. 4b).

Il secondo contributo è consistito nella programmazione di attività di spurgo sistematiche, da realizzare prevalentemente durante la recessione di eventi di piena (ovvero successivamente al transito del colmo di piena) e occasionalmente in condizioni di normale esercizio dell'invaso. Questa fase ha implicato l'esecuzione di simulazioni idrauliche e di trasporto solido, a partire da eventi di piena ricostruiti in un decennio di osservazioni idrologiche e batimetriche, dal rilievo di sezioni idrauliche significative del torrente S.Rocco-Entogge e del fiume Chienti a monte e a valle dell'invaso e dai dati granulometrici del materiale prelevato in varie sezioni fluviali campionate. Il modello di trasporto è stato calibrato in modo che fosse in accordo con il dato sperimentale di interrimento medio annuo di circa 16.000 m³ ed è stato poi applicato per simulare la

Politiche di conservazione del territorio sono alla base di una gestione sostenibile dell'interrimento

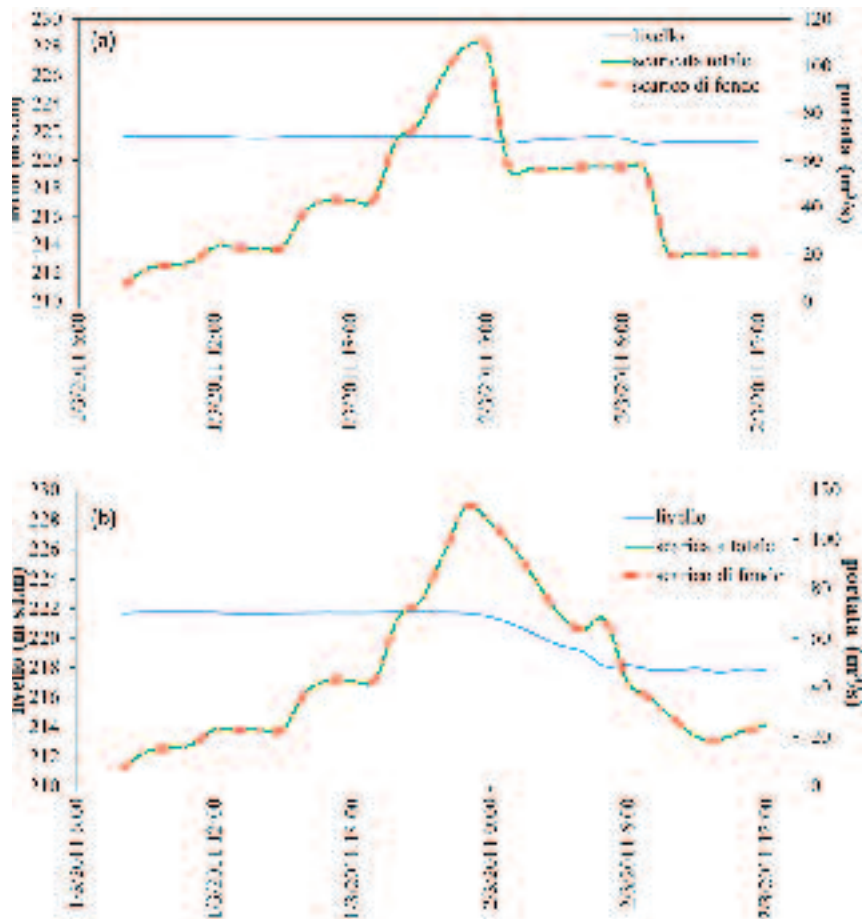


Fig. 5 - Evento di piena di marzo 2011: andamenti della portata evacuata attraverso l'opera di scarico di fondo e del livello nell'invaso nella gestione in modalità "ordinaria" (a) e "spurgo sistematico" (b)

gestione di piene "tipo" in modalità di "spurgo sistematico", cioè prevedendo durante la coda della piena un significativo abbassamento del livello dell'invaso in modo da ottimizzare l'evacuazione del sedimento attraverso lo scarico di fondo. Questa è una gestione alternativa a quella ordinaria, nella quale il livello dell'invaso è mantenuto circa costante alla quota di massima regolazione.

La Fig. 5 confronta le due diverse gestioni di una piena, "ordinaria" e in "spurgo sistematico"; la modalità "spurgo" nel caso esaminato consente un'evacuazione attraverso lo scarico di fondo di circa 5.600 m³ di materiale solido a fronte di 3.050 m³ trasferiti a valle in modalità "ordinaria". È stato quantificato che l'azione di spurgo pianificata, qualora applicata

a tutte le piene significative eventualmente verificatesi nell'arco dell'anno, consentirebbe una riduzione media dell'interrimento annuo dell'invaso del 20%. Il terzo contributo è consistito nella progettazione di interventi volti a ridurre l'apporto di materiale solido in entrata al lago Le Grazie; tali interventi, di tipo sia intensivo che estensivo, si prefigurano come strumenti strutturali di contenimento del processo di interrimento e riguardano le aree di drenaggio e l'alveo dei due immissari, il fiume Chienti e il torrente San Rocco-Entogge. In primo luogo è stata applicata una procedura per stimare l'apporto solido al lago determinato dai suoi due immissari. In seguito, al fine di progettare interventi mirati alla riduzione di materiale trasferito dal torrente

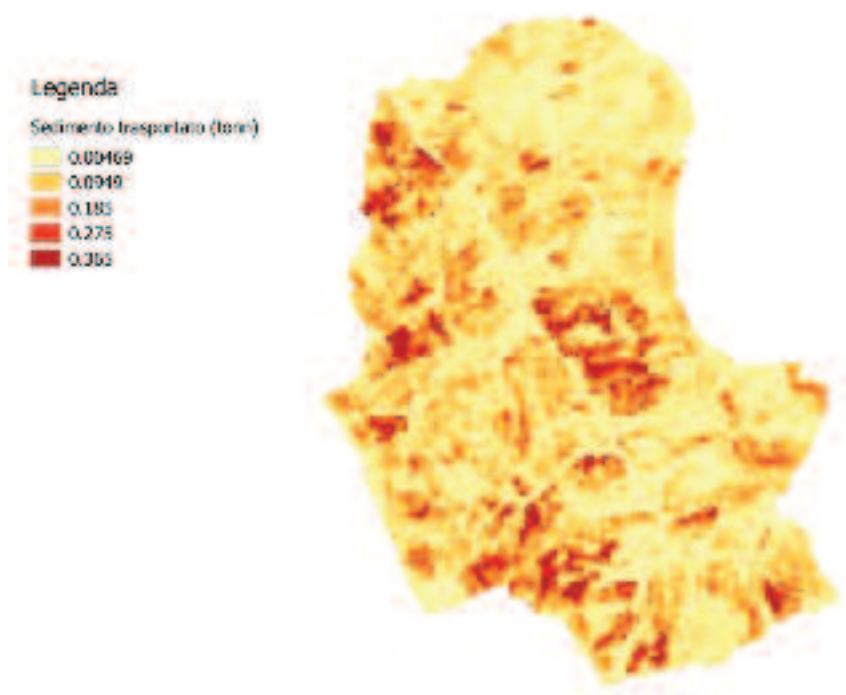


Fig. 6 - Bacino idrografico del torrente S.Rocco-Entogge: mappa della massa media annua (ton) di produzione di sedimento nella sezione di chiusura proveniente dalle varie aree

San Rocco-Entogge, sono stati applicati in serie un metodo di stima della perdita di suolo per erosione all'interno del bacino idrografico (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE) e un modello di trasporto (SEdiment Delivery Distributed, SEDD, proposto da Ferro e Minacapilli (1995)) del materiale eroso che raggiunge la sezione di chiusura, e che entra perciò nel lago.

L'approccio sopra descritto ha consentito di identificare le aree che sono potenziali fonti di sedimento (Fig. 6) che, drenato attraverso il reticolo idrografico, si deposita poi nel lago. Tale dato è stato utilizzato per identificare l'ottimale ubicazione di interventi strutturali di contenimento del processo erosivo e di trasporto e in particolare: un intervento di tipo estensivo, consistente in azioni di miglioramento della copertura vegetale dei suoli degradati appartenenti al bacino, e un intervento di tipo intensivo, che prevede la realizzazione di tre briglie di ritenuta e di altrettante piazze di deposito localizzate in op-

portune sezioni del reticolo idrografico. Le analisi condotte con la modellistica precedentemente descritta consentono di affermare che l'intervento di tipo intensivo dovrebbe determinare una riduzione di apporto solido del torrente San Rocco-Entogge di quasi il 40%.

Conclusioni

Le varie esperienze maturate sul campo consentono di concludere che una soluzione sostenibile del problema dell'interrimento degli invasi artificiali esiste qualora ad una corretta gestione degli afflussi-deflussi della portata liquida e solida dell'invaso si affianchino interventi strutturali di riduzione dell'apporto solido in ingresso. Tuttavia, anche in tali ottimali condizioni, interventi di sfangamento periodici che prevedano un'asportazione del sedimento e una sua successiva sistemazione definitiva potrebbero continuare ad essere necessari.

In quest'ottica è attualmente allo studio del DICA il riutilizzo in ambito in-

dustriale del sedimento eventualmente asportato, previa trasformazione e nobilitazione, al fine di far diventare risorsa un materiale che normalmente implica elevati costi di gestione e/o smaltimento.

Bibliografia citata

Bizzini F., Caruana R., De Vita P., Fanelli G., Gallerano F., Gambino C., Granata T., La Barbera G., Marchitelli M., Passeri V., Tiddia D., 2010. Il problema dell'interrimento dei serbatoi italiani, Giornata di Studio ITCOLD "La salvaguardia dei serbatoi artificiali in Italia. Gestione della risorsa, mantenimento delle opere, ampliamento della capacità", Roma 28 Ottobre 2010.

Pascucci V., Tamponi G., 2013. Le grandi dighe italiane: quadro normativo ed attività di vigilanza e controllo. Presentazione convegno Vajont 2013.

Ferro V., Minacapilli M., 1995. Sediment delivery processes at basin scale. Hydrological Sciences Journal, 40(6), 703 -718.

Gli autori ringraziano: il Comune di Tolentino nella persona del sindaco Giuseppe Pezzanesi, l'ASSM SpA nella persona dell'Amministratore Delegato Dott. Graziano Natali, l'ing. Giorgio Palmieri, già Dirigente del Settore Tecnico di ASSM SpA, e i suoi collaboratori; la Dott.ssa Rita Salvucci, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche - Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze-Sede coordinata di Perugia; l'ing. Daniele Bernardini, l'ing. Giacomo Perugini e il laureando Andrea Rossi.

PUBBLICITÀ

INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NEL BACINO DEL FIUME NERA A BORGO CERRETO



Importante esempio di progettazione che coniuga Ingegneria e Architettura Idraulica

di Remo Chiarini
Vincenzo Giovannini

Tra Ingegneria e Architettura idraulica

Non è infrequente che il progetto degli interventi per la riduzione del rischio idraulico in un determinato ambito territoriale antropizzato si esaurisca nella semplice sovrapposizione dei risultati di tre ordinari, per quanto avanzati, tipi di modelli matematici. Il primo di natura idrologica per la simulazione della formazione e propagazione delle correnti di piena di riferimento nel tronco fluviale o torrentizio d'interesse; il secondo di natura idraulica (preferibilmente in regime di moto vario e possibilmente 2D), per la valutazione dei tiranti idrici in alveo e dei battenti di allagamento nelle zone inondabili e, infine, il terzo, di natura strutturale, per la simulazione agli elementi finiti degli effetti delle varie combinazioni di carico (in-

cluse le azioni sismiche ed idrauliche) da considerarsi agenti sulle nuove difese strutturali che si appalesano necessarie sulla scorta delle precedenti modellazioni idrologiche ed idrauliche. È evidente come un tale approccio, per quanto efficiente e pragmatico, se non opportunamente mediato e orientato dal progettista, non riesca a contemperare altri tipi di esigenze e di obiettivi comunque cogenti, come ad esempio quelli connessi alla sostenibilità ambientale o alla tutela del paesaggio. Coerentemente a questa basilare consapevolezza progettuale non abbiamo mai ritenuto che il tema della mitigazione del rischio idraulico a Borgo Cerreto (Figura 1), alla confluenza tra i Fiumi Nera e Vigi, seppur fondamentale ed assorbente, potesse ridursi alla mera ricerca delle quote altimetriche a cui innalzare le nuove difese spondali e alla successiva verifica di stabilità dei manufatti da realizzare. Questa ovvia e abituale modalità operativa, spesso utilizzata in casi analoghi senza significative obiezioni perché non in grado di turbare più di tanto l'iter della pur lunga e faticosa filiera delle infinite autorizzazioni, sarebbe stata sicuramente riduttiva. Essa avrebbe fornito soluzioni pragmatiche ai due obiettivi ingegneristici, canonici e fondamentali, consistenti nel conseguimento del prescritto livello di protezione rispetto al rischio idraulico e a quello sismico, ma non necessariamente avrebbe consentito di garantire il mantenimento o, al limite,



Figura 1: veduta a volo d'uccello sul nucleo storico di Borgo Cerreto a Cerreto di Spoleto (PG) alla confluenza tra il F. Nera e il F. Vigi. (<http://www.lavalnerina.it>)

il recupero, dell'elevato pregio paesaggistico di questo caratteristico borgo altomedievale, sorto sulla sponda opposta agli insediamenti francescani (Figura 2) della chiesa di San Lorenzo (impianto gotico XIII sec.) e dell'annesso convento, in corrispondenza di uno dei locali originari punti di attraversamento del fiume Nera (Figura 3). Qui infatti s'incontravano due importanti antiche viabilità dell'Alta Valnerina: la Via della Spina da Spoleto a Plestia (oggi Colfiorito) e la via lungo il Nera verso Norcia e Visso. Occorreva introdurre il rispetto di un imprescindibile terzo criterio fondamentale, in grado di rendere accettabili o, come oggi si predilige, sostenibili anche le più aride ed inespressive opere d'ingegneria idraulica: il criterio estetico, ovvero la ricerca della bellezza attraverso l'armonizzazione delle forme, dei materiali e dei colori, tra il nuovo e l'antico. D'altro canto la manualistica delle costruzioni idrauliche e di quelle stradali nella definizione della nomenclatura



Figura 2: vista sulla chiesa di San Lorenzo e sull'annesso convento francescano, in sinistra del Nera a Borgo Cerreto. In basso la passerella in carpenteria metallica da adeguare (<http://www.lavalnerina.it>)

dei lavori ha sempre posto una chiara distinzione tra opere ordinarie (scavi, demolizioni, rilevati ecc..) ed "opere d'arte" (ponti, gallerie, muri di sostegno, ecc..), come se nelle seconde lo sforzo progettuale dovesse necessa-

riamente compiere un salto qualitativo per garantirsi la dignità e l'apprezzamento caratteristici di una opera bella e destinata a durare nel tempo.

La mitigazione del rischio idraulico

Come si può rilevare dalla (Figura 4) la passerella pedonale preesistente in carpenteria metallica, portata da due travate reticolari in profilati in acciaio a giunti chiodati, verosimilmente risalente al primo dopoguerra, rappresentava un potenziale ostacolo al libero deflusso della corrente di piena non disponendo sostanzialmente di alcun franco idraulico e avendo in passato, in più occasioni, già subito l'urto di corpi flottanti e in qualche caso anche la tracimazione. Ma la sussistenza di un grave stato di rischio idraulico resta innanzitutto testimoniata dalla perdita di una vita umana nel corso della piena del 18.09.1936, quando l'esondazione del Fiume Nera raggiunse all'interno dell'abitato di Borgo Cerreto un battente di circa 1.6 m (Figura 5).

L'Autorità idraulica ha imposto quindi che la nuova opera di attraversamento (Figura 6) garantisse la presenza di un franco superiore ad 1 m tra il tirante di piena 200-ennale e la struttura l'intradosso del ponte per



Figura 3: disegno di Giuseppe Tarugi (1668) con gli skylines di Cerreto di Spoleto (Cerreto) e di Borgo Cerreto (Suburbia). Si noti il ponte ad arco. (Biblioteca Comunale di Spoleto)



Figura 4: sezione trasversale del F. Nera in corrispondenza della passerella pedonale preesistente con l'indicazione del tirante di piena duecentennale

almeno 2/3 della sua luce. In Figura 7 si riporta il raffronto tra i profili del pelo libero di piena duecentennale, rispettivamente nello stato attuale (in rosso) e in quello di progetto (in blu). L'abbattimento del profilo del pelo libero nello stato di progetto è stato ottenuto mediante una locale ricalibratura dell'alveo che in corrispondenza della sezione della vecchia passerella, mediante opportuni raccordi a monte e a valle, è stato allargato in destra idraulica di circa 3 m per attenuare, per quanto possibile, il brusco restringimento prima determinato dalla spalla del manufatto esistente. In Figura 8 è rappresentata la vista prospettica dell'output del modello di simulazione della corrente di piena duecentennale implementato sul sistema idrografico accoppiato dei Fiumi Nera e Vigi, sia per lo scenario di stato attuale che di quello di progetto. Nell'ingrandimento all'interno di tale figura si nota come nello stato di progetto il passaggio al di sotto del nuovo ponticello ad arco avvenga regolarmente a pelo libero, nel rispetto del franco idraulico prescritto. Naturalmente, oltre a beneficiare del favorevole effetto di depressione del tirante di piena otte-

nuto mediante il locale allargamento della sezione e la riprofilatura del fondo alveo fino alla confluenza del Nera e del Vigi, per conseguire il richiesto franco di un metro su tutte le opere in progetto destinate alla difesa idraulica di Borgo Cerreto è stato necessario provvedere anche al



Figura 5: il vicolo nell'abitato di Borgo Cerreto che conduce all'attuale passerella come si presentava dopo l'alluvione del 1936. Sulla facciata dell'edificio in sinistra sono visibili i livelli raggiunti dall'esondazione del F. Nera (Spoleto, Archivio Paolo Blaser)

rialzamento di circa 140 m di strutture esistenti (parte in c.a. a gravità e parte in muratura di pietrame), nonché alla realizzazione di ulteriori 100

m di nuovi muri spondali e di un nuovo argine in terra rinforzata avente 60 m di sviluppo. La simultanea necessità di rispettare, da un lato la prescrizione sul franco idraulico, dall'altro di garantire pendenze delle rampe pedonali di approccio alla nuova passerella possibilmente con pendenza media inferiore al 10%, ha inevitabilmente condizionato il progetto verso l'adozione di una struttura ad arco che, dovendo rispettare i vincoli geometrici derivanti da una freccia molto ridotta rispetto alla luce libera, lasciava fattibili solo le possibili alternative di una struttura ad arco circolare fortemente ribassato,

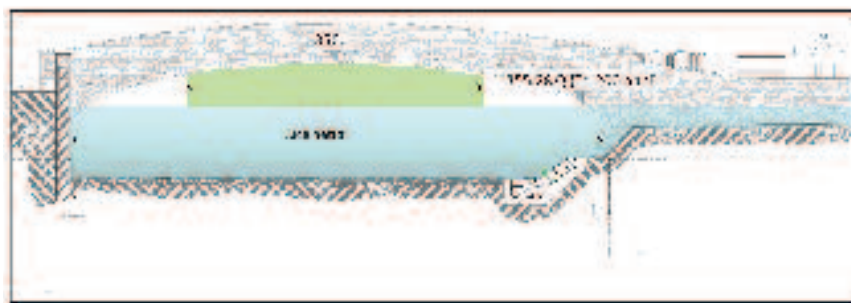


Figura 6: sezione trasversale del F. Nera. Stato di progetto con il tirante duecentennale. In verde è evidenziata la porzione della sezione di deflusso in cui è garantito il franco richiesto ≥ 1 m

ovvero quelle di un arco policentrico o semiellittico ad elevata eccentricità. La ricerca di opere d'arte similari storicamente presenti in Valnerina (Figura 9 A e B) ha fornito altri esempi di archi circolari ribassati, ma in nessun caso dotati di un rapporto così ridotto tra freccia e luce libera. Stante dunque l'inderogabilità di tale vincolo e volendo impedire l'anomalia di un ribassamento esasperato, si è infine optato per l'adozione di un arco semiellittico di maggiore armonia e compostezza, il quale, di fatto, ha ottenuto anche l'approvazione da parte della Direzione Generale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Umbria.

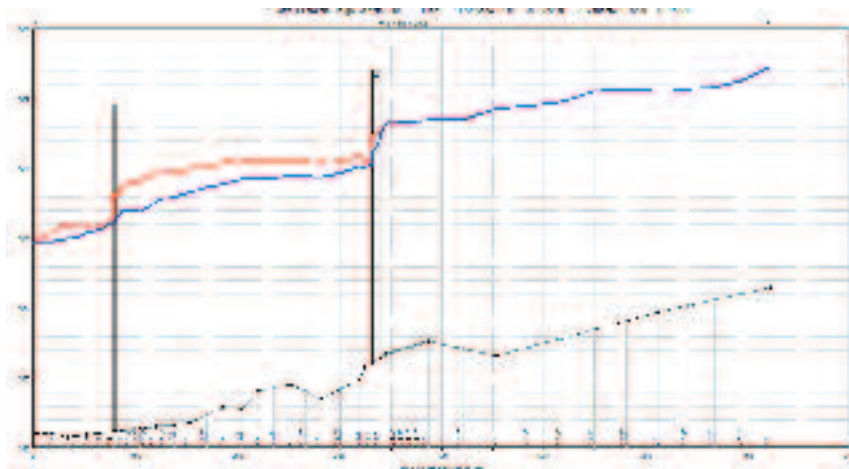


Figura 7: abbattimento del tirante di piena duecentennale in regime di moto vario ottenuto nello stato di progetto (linea blu) tra i due ponti sul Nera

La centinatura in carpenteria metallica per garantire la sicurezza delle maestranze

Tra le prescrizioni imposte dall'autorità idraulica vi era anche quella del divieto di realizzare opere provvisorie in alveo per tutta la durata dei lavori. Tale imposizione era ovviamente motivata dalla giusta precauzione di non creare potenziali ostacoli fissi alle correnti di piena, tali da intercettare magari anche il materiale flottante e causare incontrollabili rigurgiti a monte con rischio di esondazioni nel centro abitato. In Figura 10 si è riportato il prospetto delle centinature reticolari in carpenteria metallica con schema statico ad arco a tre cerniere. Nella sezione trasversale al centro della figura si vede come in realtà la centinatura sia costituita da due archi gemelli e simmetrici, facilmente separabili in fase di disarmo, e sfilabili lateralmente su appositi binari guida dopo il loro parziale abbassamento. Ogni arco è stato dotato di una passerella a sbalzo (Figura 11) che ha consentito alle mae-

stranze addette alla realizzazione delle casseforme, ai getti e al rivestimento dei parapetti di trasportare e porre in opera i materiali in piena si-

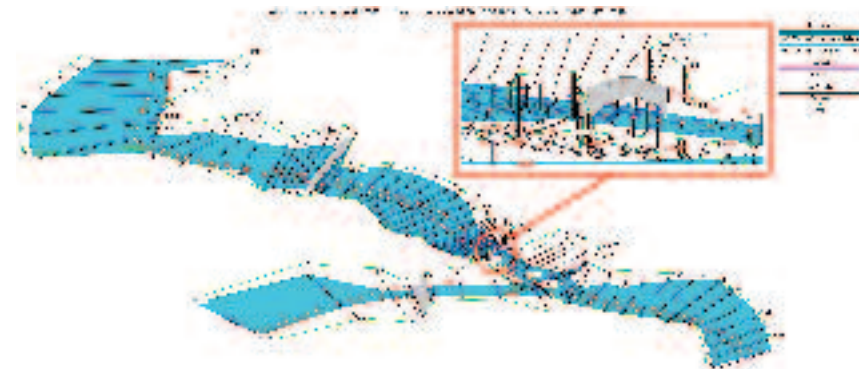


Figura 8: vista prospettica del modello HEC-Ras 4.1 per la simulazione in moto vario dell'evento 200-ennale. Stato di progetto

urezza, indipendentemente dal contestuale regime di portata del torrente.

Il progetto strutturale

L'elevatissimo ribassamento dell'arco semiellittico (freccia/luce = $2.79/22.20 \approx 12.7\%$), unitamente alla classificazione dell'area in zona si-

smica 1 ($ag = 0.25g$) non consentivano di prendere in considerazione, per quanto geometricamente congeniali, soluzioni basate sul mero funzionamento ad arco monolitico. Stante inoltre la necessità di ridurre al minimo possibile lo spessore della soletta d'impalcato per mantenere il franco idraulico prescritto, senza eccessivo innalzamento dell'estradosso, si è optato per una struttura in c.a. a comportamento ibrido, che potesse sfruttare al meglio sia le prerogative di una trave semi-incastrata (con sezione ad "U" in mezzeria e scatolare presso le spalle - Figura 12) che quelle di un arco a modesta curvatura. Il funzionamento a trave consente infatti di fornire la rigidità in mezzeria necessaria a contrastare le azioni flettenti che tenderebbero a generare sensibili effetti di trazione

nella soletta d'impalcato, laddove invece il comportamento ad arco compresso contribuisce a ridurne l'intensità (vedi Figura 14).

Va da sé che in ogni caso la struttura iperstatica non poteva essere considerata perfettamente incastrata agli estremi in ragione della, seppur modesta, ma presente, "cedevolezza" delle spalle. Infatti quest'ultime sono dotate di un sistema di fondazioni profonde, costituito da platee su pali trivellati in c.a. di medio diametro, che, sottoposto alle sensibili sollecitazioni orizzontali, anche per i soli carichi statici di esercizio, ne subisce l'effetto deformativo, essenzialmente di tipo elastico. Per inserire quindi nel



Figura 9: (A) ponte ad arco sul Fiume Corno (Stretta di Biselli); (B) ponte ad arco ribassato sul Fiume Nera a Sant'Anatolia di Narco; (C) Inserimento fotorealistico della nuova passerella

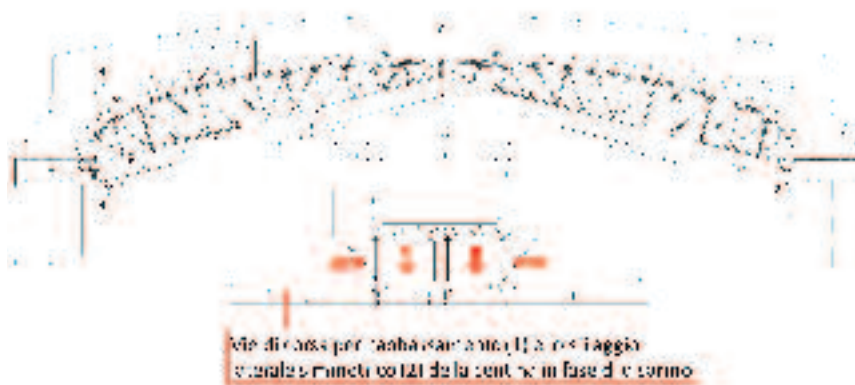


Figura 10: centina in carpenteria metallica costituita da due archi semiellittici accoppiati, separabili e sfilabili lateralmente

modello della struttura in elevazione (vedi Figura 13) una corretta valutazione della rigidità dei due sistemi di vincolo cedevoli, si è preventivamente proceduto all'allestimento di un indipendente modello numerico elasto-plastico d'interazione palo-terreno, in grado di fornire una realistica stima della dipendenza tra spostamenti delle fondazioni e azioni in condizioni di esercizio. Il comportamento della struttura ottenuta è ovviamente risultato fortemente influenzato da quello delle spalle, dalle quali dipende la distribuzione delle tensioni all'interno del ponte:

- spalle molto cedevoli sul piano orizzontale inducono un comportamento a "trave" (+ armatura in mezzzeria, + armatura agli incastri, - spinta orizzontale su spalle, + flessione su spalle), mentre spalle più rigide sul

piano orizzontale inducono un comportamento ad "arco" spingente (- armatura sul ponte, + spinta su spalle, - flessione su spalle);



Figura 11: gli sbalzi laterali della centina in acciaio hanno consentito l'esecuzione in sicurezza dei rivestimenti dei parapetti

- spalle molto rigide alla rotazione (attorno l'asse fiume) inducono un comportamento a "trave" incastrata (- armatura in mezzzeria, + armatura agli

incastri, - spinta orizzontale su spalle, + flessione su spalle), mentre spalle poco rigide alla rotazione (asse fiume) inducono un comportamento a "trave" appoggiata (+ armatura in mezzzeria, - armatura agli incastri, + spinta orizzontale su spalle, - flessione su spalle).

Il comportamento dinamico dell'opera è stato indagato mediante l'analisi lineare dinamica applicata al modello FEM (Figura 13) considerando il comportamento della struttura come non dissipativo ($q=1$) e valutando i primi 12 modi di vibrare (vedi Figura 15), in quanto risultati sufficienti ad ottenere la mobilitazione in tutte le direzioni di almeno l'85% dell'intera massa strutturale.



Un ultimo cenno merita la descrizione della particolare modalità di posa in opera del rivestimento in lastre di pietrame di natura calcarea al

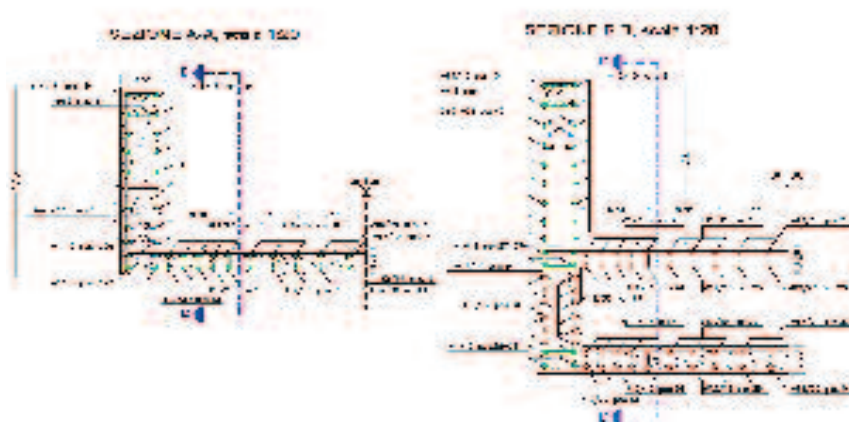


Figura 12: sezioni trasversali dell'impalcato in mezzzeria (A-A) e presso le spalle (B-B)



Figura 13: mesh del modello FEM della struttura principale. A fianco dettaglio degli elementi SHELL della parte in elevazione della spalla

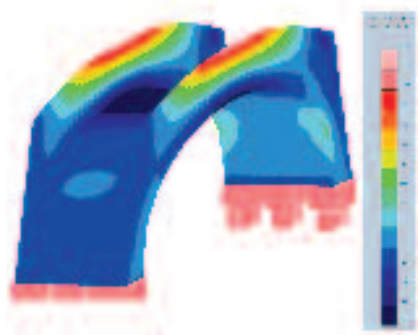


Figura 14: distribuzione delle tensioni medie nella direzione parallela all'asse maggiore del manufatto nella combinazione dei massimi carichi statici. In blu le zone soggette a trazione

disotto dell'intradosso del ponte. È infatti noto come il mero incollaggio, anche se effettuato con malte speciali, in condizioni così sfavorevoli, sia sotto il profilo dell'assetto geometrico (collante soggetto costantemente a trazione per effetto del peso della lastra), sia sotto il profilo ambientale (elevato e persistente livello di umidità), non garantisca una durabilità a lungo termine.

Per ovviare a tale inconveniente, ma anche per risolvere radicalmente un altrimenti complesso problema di posa in opera del rivestimento intradosso a getti ultimati, si è proceduto al montaggio del rivestimento direttamente sopra la centinatura metallica in lamiera d'acciaio, calandrata secondo la curvatura dell'arco ellittico, salvo provvedere alla preventiva stesa di un telo di geotessile che consentisse di evitare la concentrazione di tensioni sulle asperità in-

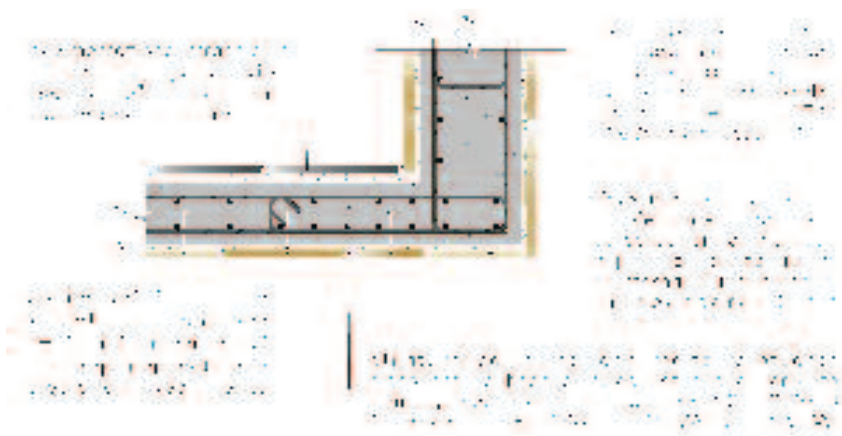


Figura 16: dettaglio costruttivo dei rivestimenti, d'intradosso (con connettori), della pavimentazione e dei parapetti

feriori e conseguenti rotture delle lastre nelle successive fasi di lavorazione. Una volta sistemate le lastre e stuccati i giunti tra le medesime con le speciali malte da incollaggio, si è proceduto alla posa (in ragione di quattro elementi a m²) di ferri connettori ad L (vedi Figura 16) in grado di ancorare definitivamente il getto della soletta al sottostante rivestimento preinstallato.



Figura 18: rivestimento dell'intradosso posto in opera sulla centinatura prima del getto della soletta inferiore d'impalcato



Figura 17: il nuovo attraversamento nel contesto dell'antico borgo



Figura 19: Vista dalla sponda sinistra del Fiume Nera



Figura 15: rappresentazione 3D del modo di vibrare n° 5 della struttura

Comitente:	Comunità Montana Valina
Rivenditore/Ministro del Patrimonio:	Geom. ANTONIO JUCI
Progettista:	Ing. VINCENZO CERRI / Ing. RENZO CHIARINI
Direzione Lavori:	Ing. RENZO CHIARINI
Coordinatore Tecnico:	Ing. SILVIO SALVINI
Impresa Esecutrice:	Felcia Imprese di Costruzioni S.R.L. - Foligno (VT)
Impianto / Titolo dei Lavori:	C. 034/4/2/42
Localizzazione / Indirizzo:	R. 200/100/55
Importo del Progetto al lordo delle somme a discoscione:	C. 034/4/2/36
L'Impresa è a mezzo del rifesso	

L'ANALISI DEL CICLO DI VITA DEGLI EDIFICI



Il settore delle costruzioni è fonte di significativi impatti in termini di consumi di energia e di emissioni di gas serra

di Francesco Asdrubali

Il settore delle costruzioni è fonte di significativi impatti in termini di consumi di energia e di emissioni di gas serra. È stato stimato che il settore edile in Europa è responsabile di circa il 40% dei consumi di energia primaria, il 40% delle emissioni di CO₂, di un terzo dei consumi di acqua e di circa un terzo del totale dei rifiuti. La legislazione, anche comunitaria, si sta pertanto muovendo da anni nella direzione della riduzione degli impatti del settore delle costruzioni.

La Energy Performance of Building Directive (Direttiva 2010/31/EU), ad esempio, introduce obiettivi importanti per quanto riguarda la riduzione dei consumi energetici in fase d'uso delle costruzioni, imponendo che i nuovi edifici siano Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) a partire dal 2021. Sebbene l'argomento degli NZEB stia ricevendo sempre maggiore atten-

zione negli ultimi anni, una loro definizione rimane, in molti casi, generica e non ancora standardizzata. Generalmente ci si riferisce ad un Nearly Zero Energy Building come ad un edificio progettato per lavorare in sinergia con una rete energetica ed in cui si ha un bilanciamento nullo, o positivo, fra l'energia esportata e l'energia importata dalla rete in un certo periodo di tempo (tipicamente un anno). Periodi di tempo più lunghi come decenni, invece, potrebbero essere adottati per tenere in considerazione l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Una strategia consolidata per arrivare allo standard NZEB consiste dapprima nell'agire sulla riduzione della domanda energetica attraverso misure di efficientamento dell'involucro e successivamente nell'installazione di sistemi di produzione di energia termica o elettrica.

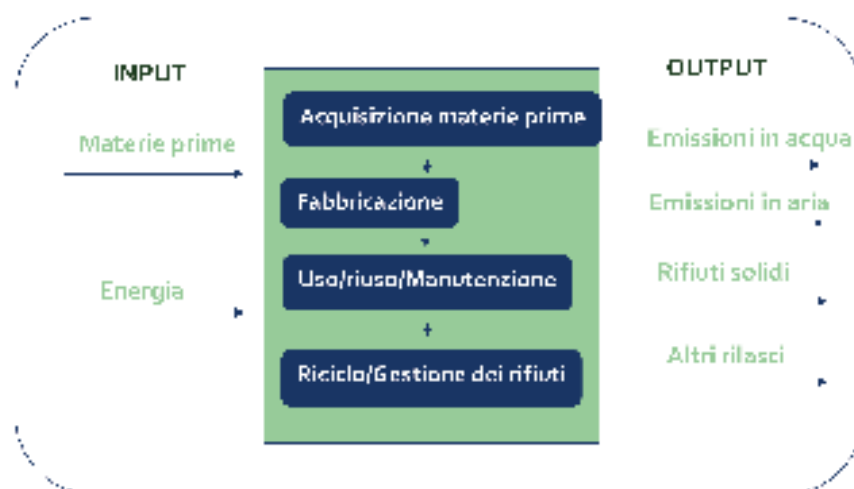


Figura 1 - Schema della procedura di analisi di ciclo di vita (LCA)

In generale gli edifici che sono i migliori candidati a essere facilmente progettati o riqualificati come edifici ad energia zero sono edifici di uno o due piani, con bassi carichi energetici e che hanno una sufficiente superficie in copertura per installare la quantità di pannelli richiesti ad ottenere un bilanciamento energetico netto nullo. Al contrario gli edifici meno promettenti sono quelli con elevati carichi a causa della presenza di macchinari o processi energivori come ospedali, laboratori, ristoranti o magazzini refrigerati. Se è generalmente vero che la riduzione dei consumi in fase operativa causa una riduzione degli impatti globali valutati sull'intero ciclo di vita, quando si cerca di ridurre al minimo i consumi in fase operativa, il possibile inconveniente è quello di causare il cosiddetto *burden shifting*, cioè il trasferimento degli impatti dalla fase operativa a quelle di costruzione (produzione ed installazione di materiali e componenti) e di fine vita dell'edificio. L'analisi di ciclo di vita (Life Cycle Analysis o LCA) è a tal fine il miglior strumento per analizzare gli impatti ambientali del settore edile ed evitare il *burden shifting* (Fig. 1). Diversi studi di letteratura riconoscono nell'LCA una metodologia adatta a selezionare le migliori innovazioni ecologiche e a determinare gli impatti ambientali in modo coerente. Tale analisi dovrebbe essere auspicabilmente applicata durante la fase di progettazione degli edifici al fine di selezionare le alternative progettuali che causano il minor impatto ambientale. L'ottimizzazione degli edifici a energia quasi zero (NZEB) non può, ad esempio, prescindere dalla considerazione dei consumi energetici, dei costi e degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita. Gli edifici sono, tuttavia, sistemi complessi che hanno più funzioni e l'applicazione dell'LCA, nata nel mondo industriale, risulta, a volte, complessa per la non ripetitività di ogni prodotto edile. Si può fare riferimento ad alcune norme e linee guida che cercano di stabilire una comune metodologia per l'analisi in campo edilizio:

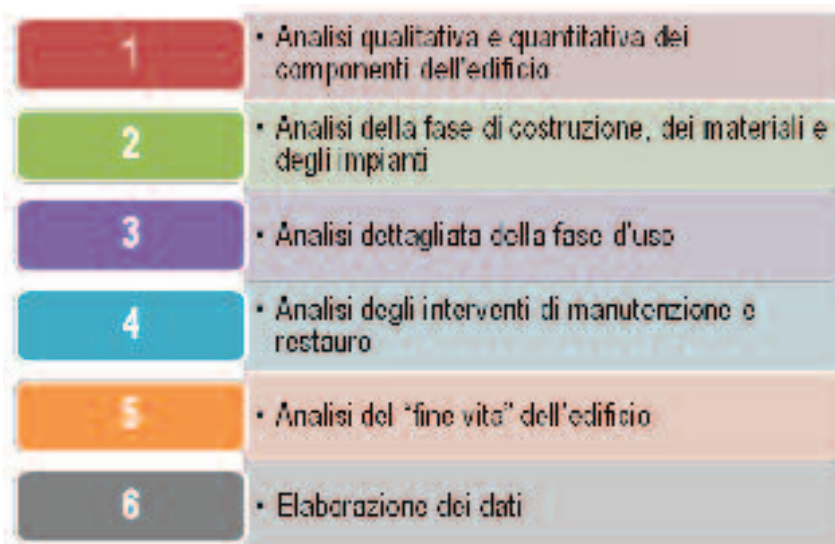


Figura 2 - Fasi dell'analisi di ciclo di vita applicata agli edifici

- ISO/TC59/SC17: promuove gli EPD, Environmental Product Declaration, come base per le analisi LCA di edifici
- ISO 14044 e ISO 14044: sono gli standard internazionali per la LCA
- CEN TC 350: stabilisce diversi metodi applicativi per realizzare EPD
- EPD@System: stabilisce le regole per realizzare EPD di edifici
- EN 15643-2:2011, EN 15978:2011 e EN15804:2012: riguardano la sostenibilità delle costruzioni

In base alle linee guida fornite dalle norme, la valutazione del ciclo di vita si realizza attraverso quattro fasi distinte:

- 1 definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio;
- 2 analisi di inventario (LCI);
- 3 analisi dell'impatto (LCIA);
- 4 interpretazione dei risultati.

L'applicazione della metodologia LCA ad un organismo complesso come un edificio presenta al tempo stesso limiti e potenzialità (Fig. 2). Tra i principali limiti si possono menzionare:

- il carattere prototipico del settore edilizio: ogni edificio è di fatto un "prototipo" di se stesso, essendo diverso per forma, materiali, impianti, da tutti gli altri (Fig. 3);

- la complessità del processo edilizio, accresciuta dalle interazioni tra manufatto e fattori esterni;

- la quantità di operatori interessati nel ciclo di vita dell'edificio;

- la difficoltà nel reperimento di dati specifici del contesto in cui l'edificio è inserito: i codici di calcolo che implementano la LCA contengono banche dati internazionali o estere, mentre un'accurata LCA richiederebbe dati nazionali o addirittura locali.

D'altro canto, l'LCA è un potente strumento di calcolo, le cui principali potenzialità sono rappresentate da:

- la trasparenza del metodo: si tratta di un metodo quantitativo, quindi oggettivo;

- il carattere iterativo del processo;

- la quantificazione e la qualificazione del danno ambientale del manufatto;

- la verifica del danno ambientale nelle diverse fasi del ciclo di vita del manufatto (costruzione-uso-manutenzione-dismissione);

- la comparazione tra soluzioni costruttive ed impiantistiche alternative e la possibilità di utilizzare la LCA come strumento di eco design.

Uno degli aspetti più importanti nell'analisi di ciclo di vita è proprio la trasparenza del processo e la scelta dell'inventario di riferimento. Nel caso di edifici gli inventari più usati sono ECOINVENT, GABI (che ha più di 2000 prodotti edili) e IBO per prodotti edili austriaci. In generale gli EPD dei



Figura 3 - Carattere prototipico del settore edilizio

vari componenti dovrebbero essere preferiti rispetto ai dati ricavati da database. Esistono tre tipologie di dati utilizzati come input nelle analisi LCA:

1. Dati primari: misurati direttamente sul campo
2. Dati secondari: ricavate da banche dati oppure da studi di letteratura
3. Dati proxy: dati corrispondenti ad un processo simile a quello oggetto di studio

Al fine di valutare il concetto di qualità del dato impiegato gli aspetti fondamentali da tenere in considerazione sono tre: accuratezza, precisione (varianza) e completezza dell'inventario rispetto alle categorie d'impatto previste nello studio. La Product Environmental Footprint, promossa dalla Commissione Europea nel 2013, definisce un indice di Data Quality Rating (DQR) che si ottiene dalla media di una serie di punteggi riguardanti la rappresentatività tecnologica, rappresentatività geografica, rappresentatività temporale, completezza, precisione e consistenza metodologica dei dati usati. Una corretta LCA non può inoltre prescindere da un'analisi dell'incertezza applicata descrivendo i dati in termini di media, varianza, distribuzione di probabilità. Nelle analisi LCA di edifici rintracciabili in letteratura c'è ancora molta discrezionalità: in alcuni casi, ad esempio, nella fase d'uso viene considerato solo il riscaldamento e non l'acqua calda sanitaria, il raffrescamento e l'illuminazione; in altri casi i consumi conteggiati sono solo quelli diretti e non si tiene conto dell'energia indiretta. La stessa vita utile dell'edificio è considerata varia-

bile fra i 50 e i 100 anni. Le PCR (Product Category Rules) propongono una standardizzazione delle metodologie poiché l'eccessiva aleatorietà può portare a risultati falsati e alla difficoltà di definizione di valori di benchmark. Tutti gli studi LCA di letteratura applicati a edifici concordano nel fatto che la fase d'uso è in genere quella maggiormente impattante (fra il 60% e il 90% degli impatti totali). Ciò si verifica soprattutto quando si analizzano edifici tradizionali.

Ramesh et al. hanno evidenziato come l'energia incorporata in edifici tradizionali risulta essere compresa fra il 10% e il 20% (Fig.4), mentre in edifici a basso consumo energetico si arriva al 45%. Recentemente l'efficienza energetica e la diffusione dello standard NZEB hanno portato a ridurre notevolmente l'incidenza della fase d'uso riducendo anche gli impatti connessi a tale periodo. In un NZEB situato a Milano, ad esempio, la fase d'uso incide solo per il 31% degli impatti totali; le fasi di produzione e manutenzione vengono ad assumere un ruolo molto più importante incidendo per il 56% sugli impatti totali.

Un edificio complesso come un NZEB, infatti, richiede una manutenzione molto più importante rispetto ad un edificio tradizionale: gli isolanti, ad esempio, sono molto delicati e tendono a degradare velocemente ed a perdere la loro efficacia se non installati e mantenuti adeguatamente. Manca inoltre una reale misura della loro durata e i produttori tendono a sovrastimarla. Essendo per molti edifici la fase d'uso quella più impattante,

la riduzione dei consumi energetici per riscaldamento, raffrescamento, condizionamento, illuminazione, acqua calda sanitaria e apparecchiature di servizio risulta essere l'intervento che ha una influenza maggiore sui risultati riguardanti gli impatti LCA. Generalmente una riduzione dell'energia operativa causa anche una riduzione degli impatti globali sull'intero ciclo di vita dell'edificio. Diversi studi LCA dimostrano che la scelta del sistema di approvvigionamento energetico è molto impattante nel calcolo degli impatti ambientale. Ad esempio le biomasse risultano essere una soluzione molto competitiva per la riduzione delle emissioni di CO₂ e dei consumi energetici, anche se le reali potenzialità di questo vettore energetico dipendono da diversi fattori fra cui, in primis la corretta gestione delle foreste e lo sfruttamento di risorse locali per minimizzare gli impatti dovuti ai trasporti. In uno scenario di decarbonizzazione dell'energia elettrica, come quello attuale, gli impatti sul cambiamento climatico di edifici "totalmente elettrici" saranno sempre minori ed una sempre maggiore elettrificazione del parco edilizio può risultare auspicabile in vista degli obiettivi assunti dall'Italia a livello internazionale per controllare l'aumento della temperatura media del pianeta. Quando invece si considerano edifici NZEB è molto importante capire come ridurre l'embodied energy (energia incorporata) dei materiali da costruzione. Ciò è fondamentale a partire dalle prime fasi della progettazione preliminare. Per comprendere meglio dove poter tagliare gli impatti maggiormente è necessario scomporre l'edificio nelle sue componenti o considerare i singoli materiali che ne caratterizzano la costruzione. Le fondazioni e i muri perimetrali sono in molti casi hot spot ambientali poiché coinvolgono processi e materiali intensivi da un punto di vista energetico. Per quanto riguarda i muri, la scelta del materiale isolante è fondamentale, pertanto deve essere garantito un giusto compromesso fra energia incorporata e durabilità del materiale isolante. In edifici molto alti, la superficie esterna risulta essere molto minore rispetto a quella delle partizioni

orizzontali che acquistano un peso notevole nel calcolo degli impatti incorporati. Gli impianti alimentati ad energia rinnovabile possono inoltre essere caratterizzati da elevati valori di impatto collegati alla loro produzione ed installazione. Materiali con elevati carichi ambientali in ogni categoria di impatto LCA sono il calcestruzzo, l'acciaio, i mattoni, le mattonelle e gli isolanti. Notevoli sono gli sforzi in ambito di ricerca per la progettazione di materiali bio-compositi sostitutivi come il bio-mattone, il cemento ecologico e gli isolanti naturali (lana di pecora, paglia, kenaf, fibra di cocco, micelio etc), con lo scopo di ridurre significativamente l'energia incorporata nei materiali edili tradizionali. Un'altra strategia rilevante per la riduzione degli impatti ambientali riguarda il riutilizzo di materiali di scarto per la creazione di nuovi componenti edili: nuove pietre a partire dagli scarti della lavorazione del marmo, pietre riciclate, schiume isolanti al tannino, nuovi calcestruzzi con inerti derivanti dalla combustione di rifiuti. Il riutilizzo degli scarti della lavorazione del legno, sia come matrice di nuovi materiali che a fini energetici, è molto diffuso e ha un potenziale non trascurabile. Molte analisi LCA confermano che questa strategia è di successo e che gli edifici in legno hanno ottime performance ambientali se paragonati a tipologie simili realizzate con materiali tradizionali. I tempi di ritorno ambientali ed energetici sono indicatori utili per individuare le soluzioni che hanno una maggiore efficacia nella riduzione degli impatti ambientali: essi esprimono, infatti, in quanto tempo gli impatti incorporati (o un loro incremento) vengono ripagati dagli impatti evitati in fase d'uso. Molti studi di letteratura analizzano i tempi di ritorno ambientali ed economici di impianti ad energia rinnovabile che possono essere integrati negli edifici come pannelli solari termici o pannelli fotovoltaici. I tempi di ritorno di questi sistemi sono fortemente dipendenti da diversi fattori fra cui le caratteristiche de sito di installazione, la tipologia di tecnologia installata, dalle modalità di installazione, il mix energetico nazionale, tuttavia alle nostre latitudini sono compresi tra 1 e 4 anni.

La tecnologia installata ha per esempio un impatto rilevante sui tempi di ritorno: per quanto riguarda il fotovoltaico, ad esempio, i recenti pannelli di silicio amorfo o i pannelli a film sottile al Tellururo di Cadmio (CdTe) hanno tempi di ritorno energetici ed ambientali più bassi. L'influenza della localizzazione geografica è anch'essa, rilevante: secondo uno studio dell'ISE (Istituto per i Sistemi ad Energia Solare di Francoforte) il tempo di ritorno energetico di un sistema fotovoltaico a silicio multi-cristallino situato in Europa varia fra i 2,8 e i 1,5 anni a seconda della radiazione solare che caratterizza il luogo di installazione. Inferiore è il tempo di ritorno per sistemi ad energia eolica di larga scala (0,25-0,75 anni). Alcuni studi hanno dimostrato che i tempi di ritorno ambientali ed energetici sono maggiori per gli interventi riguardanti l'isolamento dell'involucro rispetto a quelli riguardanti gli impianti. Il mix energetico nazionale ha invece una forte influenza sul tempo di ritorno ambientale. La progressiva decarbonizzazione della produzione di energia elettrica provocherà un incremento dei tempi ritorno ambientali soprattutto per edifici fortemente dipendenti da tale vettore energetico. Un altro indicatore molto utile a paragonare le performance energetiche sul ciclo di vita di diversi scenari progettuali è

l'energy payback ratio. Esso viene definito come il rapporto fra energia totale prodotta nel ciclo di vita ed energia incorporata oppure come il rapporto fra energia risparmiata grazie ad un intervento di efficientamento energetico e variazione di energia incorporata dovuta all'intervento in questione. Anche per questo indicatore si hanno valori più alti, quindi performance energetiche migliori sull'intera vita utile, per gli impianti rispetto agli interventi sull'involucro.

Un recente studio condotto dall'Università Roma Tre in collaborazione con il Politecnico di Torino, relativo al retrofit in ottica NZEB di un edificio scolastico, ha evidenziato che i tempi di ritorno energetici ed ambientali sono compresi entro i 5 anni: in altre parole, dopo 5 anni le emissioni di gas serra e l'energia spesa per l'intervento di retrofit sono state compensate dalle emissioni evitate e dai risparmi energetici in fase di esercizio dell'edificio (Fig. 5). Dal punto di vista metodologico, una volta selezionati i materiali, i componenti e i sistemi edilizi che causano i maggiori carichi ambientali di un edificio, i progettisti possono provare a ridurli paragonando diverse alternative progettuali, testando l'efficacia dei sistemi che risultano avere tempi di ritorno più bassi e prendendo decisioni riguardo ai target da raggiungere. Molti studi di lettera-

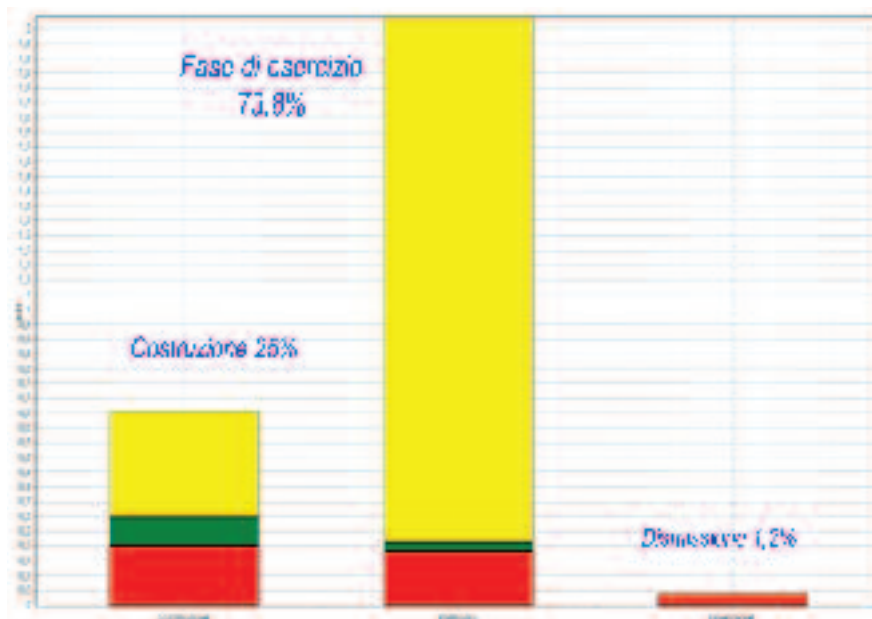


Figura 4 - Incidenza delle tre fasi del ciclo di vita di un edificio sull'impatto totale

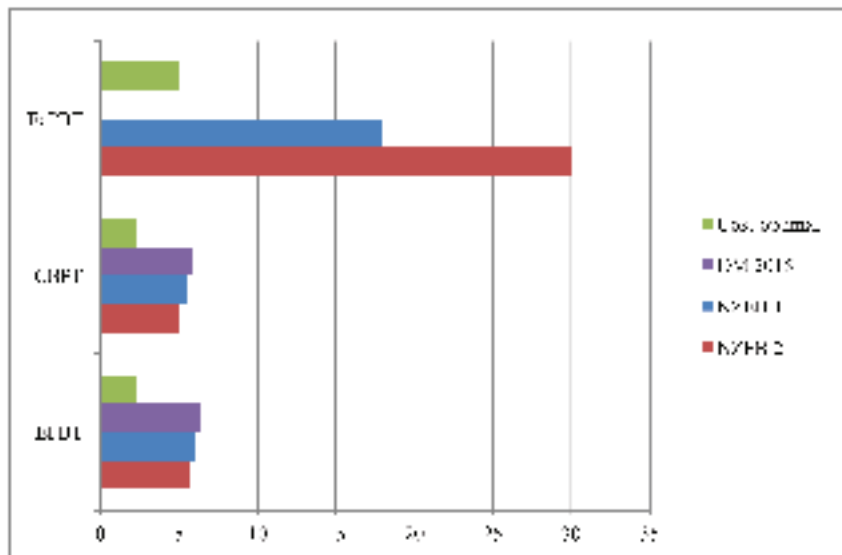


Figura 5 - Tempi di ritorno economici (EcPBT), ambientali (CPBT) ed energetici (EPB) in ottica NZEB di un edificio scolastico

tura paragonano diverse soluzioni di involucro per individuare quelle che hanno le migliori performance ambientali.

Questo approccio comparativo deve essere intrapreso già a partire dalle prime fasi di progettazione preliminare. Uno dei possibili inconvenienti è che il paragone dei risultati di diverse soluzioni può risultare molto dispendioso sia in termini di tempo che di risorse. Una analisi LCA dettagliata dell'edificio è quindi sconsigliata in

una fase di progettazione preliminare e difficile da realizzare a causa della mancanza di dati di dettaglio sui materiali e le tecnologie da installare.

Il processo di progettazione è iterativo e solo in fase di progettazione esecutiva la esplicitazione dei dettagli si rende necessaria. Diversi software sono stati realizzati per condurre un'analisi semplificata e veloce allo scopo di prendere decisioni strategiche nelle fasi iniziali della progettazione. Essi possono essere classificati

in funzione del livello di dettaglio che garantiscono:

- Livello 1: garantiscono solamente il paragone fra prodotti o componenti edili
- Livello 2: garantiscono la possibilità di una LCA completa dell'intero edificio includendo un numero limitato di indicatori di impatto
- Livello 3: garantiscono la possibilità di una LCA completa dell'intero edificio includendo un numero esteso di indicatori di impatto

Alcuni esempi degni di nota sono: Eco2soft (livello 2), ATHENA™ (livello 2), OpenLCA (livello 3) e CCalc Tool (livello 2). In alcuni casi i software LCA semplificati sono integrati in modelli BIM (Building Information Models) o in software CAD.

L'integrazione di LCA plug-in in software BIM può essere molto utile per ridurre i tempi di gestione e inserimento di dati in applicativi diversi. La Direttiva Europea 2014/24/EU rende i BIM obbligatori per la progettazione di edifici pubblici a partire da ottobre 2018. Lo sviluppo dell'interoperabilità e dello scambio di dati fra diversi applicativi software è una sfida interessante che può aiutare a rendere l'LCA effettivamente applicabile nella progettazione di edifici.

BIBLIOGRAFIA

European Parliament and Council, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings, 2010. doi:doi:10.3000/17252555.L_2010.153.eng.

F. Asdrubali, I. Ballarini, V. Corrado, L. Evangelisti, G. Grazieschi, C. Guattari, Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit, *Build. Environ.* 147 (2019) 461–472. doi:10.1016/J.BUILDENV.2018.10.047.

I. Sartori, A.G. Hestnes, Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, *Energy Build.* 39 (2007) 249–257. doi:10.1016/J.ENBUILD.2006.07.001.

T. Ramesh, R. Prakash, K.K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings: An overview, *Energy Build.* 42 (2010) 1592–1600. doi:10.1016/J.ENBUILD.2010.05.007.

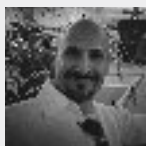
F. Asdrubali, B. Ferracuti, L. Lombardi, C. Guattari, L. Evangelisti, G. Grazieschi, A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications, *Build. Environ.* 114 (2017). doi:10.1016/j.buildenv.2016.12.033.

C. Ingrao, F. Scrucca, C. Tricase, F. Asdrubali, A comparative Life Cycle Assessment of external wall-compositions for cleaner construction solutions in buildings, *J. Clean. Prod.* 124 (2016) 283–298. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.112.

F. Asdrubali, C. Baldassarri, V. Fthenakis, Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings, *Energy Build.* 64 (2013) 73–89. doi:10.1016/j.enbuild.2013.04.018.

E. Meex, A. Hollberg, E. Knapen, L. Hildebrand, G. Verbeeck, Requirements for applying LCA-base

IL RUOLO DI CENTRALITÀ DEL COMMITTENTE NEL CANTIERE EDILE



La Normativa
e la Giurisprudenza
a 10 anni dall'entrata
in vigore del Testo Unico
per la Sicurezza:
parola alla Cassazione

di Andrea Galli

Correva l'anno 1955, l'Italia usciva dalla guerra e la ripresa economica si svolgeva nel suo massimo splendore con le produzioni industriali e l'espansione edilizia. La forte e veloce crescita necessariamente portò con sé un improvviso aumento della classe operaia; il più delle volte le condizioni di lavoro rasentavano il limite della decenza e la conseguenza fu il registrarsi di una quantità impressionante di infortuni sul lavoro e di malattie professionali. Al fine di arginare tali fenomeni, l'attenzione del normatore portò a far nascere due dei pilastri più importanti e solidi del panorama legislativo in materia di prevenzione e protezione della sicurezza sul luogo di lavoro; il DPR 547/55 ed il DPR 164/56 ebbero l'arduo compito di normare le condizioni di sicurezza nel settore industriale ed edilizio, arginare

i fenomeni infortunistici, combattere la piaga dell'indebolimento della forza lavoro e al contempo limitare gli esborsi economici dalle casse dell'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL). Il decreto, seppur modificato nel 2008 conflui all'interno del nuovo Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile, ed ancora oggi rappresenta l'elemento legislativo da ottemperare nel mondo delle costruzioni insieme all'altro pilastro normativo rappresentato dal D. Lgs. 494/96. Il D. Lgs. 494/96 (confidenzialmente per il tutti "la 494") venne emanato dal Governo Italiano per effetto della Legge Delega 52/96 in recepimento della Direttiva Comunitaria 92/57/CEE, fornendo una norma essenzialmente di tipo organizzativo, rivolta in primis alle committenze di costruzioni edili, pubbliche e private, imponendo loro obblighi di programmazione, organizzazione e controllo della sicurezza nei cantieri. Il documento di accompagnamento alla Direttiva Comunitaria, indica che la necessità di coinvolgere le committenze nel processo progettuale ed esecutivo è legata al fatto che il 60% degli incidenti mortali sul cantiere dipendono da una causa determinata da scelte effettuate prima dell'inizio dei lavori; in particolare, si legge che, circa il 35% degli infortuni mortali sono dovuti a cadute dall'alto principalmente mediante la concezione architettonica, la concezione delle attrezzature, dei materiali e dei posti di lavoro, mentre circa il 28% degli incidenti mortali sono originati dall'esecuzione di attività simultanee ma



incompatibili, legate cioè ad una carenza di organizzazione del cantiere, affrontabile in fase progettuale. Proprio per questo motivo per la prima volta nelle normative di settore si fa menzione al ruolo del Committente, ovvero di Responsabile dei Lavori, quale soggetto per conto del quale l'intera opera viene realizzata, indipendentemente da eventuali frazionamenti della sua realizzazione; ed è proprio da qui che sorgono tutti gli spunti giurisprudenziali che riconoscono nel Committente il soggetto centrale, attorno al quale ruotano le scelte, le richieste e soprattutto le condizioni economiche. Uno degli obblighi inderogabili in capo al Committente è quello della nomina del Coordinatore della Sicurezza qualora in cantiere sia prevista la presenza di più imprese anche non contemporanea. Anche la figura del Coordinatore della Sicurezza è una novità normativa, è un soggetto tecnico incaricato dal Committente che nasce con lo scopo di coordinare le attività progettuali volte a tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori nel cantiere in fase progettuale e verificarne il rispetto in fase esecutiva; conseguentemente ne deriva la tutela del Committente affinché esso stesso provveda a garantire il rispetto dei principi e delle misure generali di tutela durante le scelte architettoniche, tecniche ed organizzative oltretutto all'atto della previsione della durata di realizzazione dei lavori o delle fasi di lavoro anche in considerazione del fatto che possano svolgersi simultaneamente o successivamente. Se quindi volessimo affrontare la normativa nella filosofia legislativa con la quale è nata, il Coordinatore della Sicurezza ha un ruolo fondamentale, di ausilio della Committenza; un tecnico con professionalità specifiche in materia di sicurezza in edilizia, con un ruolo di coordinamento del gruppo tecnico affinché il progetto venga sviluppato anche effettuando l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi concreti, con riferimento all'area ed alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni ed alle loro interfe-

renze in modo da fornire prescrizioni operative, misure preventive e protettive e definendo i dispositivi di protezione individuale in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni. Ma il concetto nuovo, avviato con la 494, sta nel fatto che si riconosce nel Committente il soggetto attorno al quale ruotano le scelte che condizionano la genesi e lo sviluppo del cantiere; una funzione di centralità, disciplinata con solo due articoli del D. Lgs. 81, ma nei quali vi è la sintesi della sicurezza di cantiere.

A più di 60 anni di convivenza con il DPR 164/56 e a più di 20 anni del D. Lgs. 494/96 (oggi confluiti nel D. Lgs. 81/08, ndr), la giurisprudenza risulta consolidata nell'orientamento che il Committente, Coordinatore della Sicurezza e Datore di Lavoro hanno un ruolo, degli obblighi e delle responsabilità chiare e distinte, tutte orientate a garantire la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori nel luogo di lavoro. In effetti di "balzi" in avanti, normativamente parlando, ne sono stati fatti molti da quando esisteva esclusivamente come riferimento l'art. 2087 del Codice Civile (1942, ndr); il 2087 rappresenta tutt'ora a livello civilistico solamente la fonte della posizione di garanzia in capo all'imprenditore, ma non costituisce affatto una regola cautelare stricto sensu, poiché non prescrive ben precise modalità esecutive, volte a prevenire definite classi di evento dannoso. "Il committente è titolare di una posizione di garanzia idonea a fondare la sua responsabilità per l'infornio nel caso di omesso controllo dell'adozione da parte del sub-appaltatore delle misure generali di tutela della salute e della sicurezza sui luoghi di lavoro e, comunque, quando si manifesti una situazione di pericolo immediatamente percepibile che non sia meramente occasionale" (Cass. Pen. 22013/2018). "Il committente, anche nel caso di affidamento dei lavori ad un'unica ditta appaltatrice, è titolare di una posizione di garanzia idonea a fondare la sua responsabilità per l'infornio, sia per la scelta dell'impresa sia in caso di omesso con-

trollo dell'adozione, da parte dell'appaltatore, delle misure generali di tutela della salute e della sicurezza sui luoghi di lavoro, essendo esonerato dagli obblighi in materia antinfortunistica, con esclusivo riguardo alle precauzioni che richiedono una specifica competenza tecnica nelle procedure da adottare in determinate lavorazioni, nell'utilizzazione di speciali tecniche o nell'uso di determinate macchine" (Cass. Pen. 5893/2019).

Queste recenti sentenze della Suprema Corte portano ad istituire il principio secondo il quale il Committente non può ritenersi estraneo alle proprie responsabilità e non può esimersi dal ruolo di verifica e vigilanza assegnatogli dagli artt. 90 e 93 del D. Lgs. 81/08. Ciò detto però, la Suprema Corte (Cass. Pen. 5893/2019) ritiene che la titolarità della posizione di garanzia del Committente non comporta, in presenza del verificarsi dell'evento, un automatico addebito di responsabilità colposa a carico del garante stesso, infatti il principio di colpevolezza è legato alla verifica in concreto sia della sussistenza della violazione di una regola cautelare (generica o specifica), sia della prevedibilità ed evitabilità dell'evento dannoso che la regola cautelare violata mirava a prevenire, sia della sussistenza del nesso causale tra la condotta ascrivibile al garante e l'evento dannoso. In questa conclusione trova ampia applicazione il principio di "Ignorantia legis non excusat" (la legge non ammette ignoranza, ndr) ma al contempo la nozione di "ignoranza incolpevole della illiceità del fatto". Infatti la Corte ritiene il Committente colpevole qualora non abbia messo in atto o permesso il rispetto delle misure generali di tutela oltretutto non verificato l'ottemperanza degli obblighi previsti a carico del datore di lavoro, mentre risulta incolpevole qualora l'evento dannoso sia conseguente ad un fatto estraneo alla sua condotta concomitante all'impossibilità ovvero incapacità di valutare il rischio nei casi in cui vi sia una specificità implicita ed insita nell'attività affidata in appalto al datore di la-

voro. Per rendere semplice e comprensibile la motivazione della Corte, si può riportare come esempio il fatto che l'esecuzione di lavori in quota in assenza di presidi anticaduta è causa di corresponsabilità del Committente in quanto risulta prevedibile l'insorgere di un rischio al lavoratore ed evitabile con l'adozione di misure preventive e/o protettive; mentre non è addebitabile al Committente la scelta del sistema anticaduta ovvero del dispositivo di protezione individuale consegnato al lavoratore in quanto conseguente ad una specificità dell'attività del datore di lavoro per la quale il Committente non ha formazione e capacità. Sono lontani i tempi in cui la Corte Costituzionale riconobbe incostituzionale quell'articolo 5 del Codice Penale il quale riconosceva scusabile l'ignoranza della legge penale nei casi di ignoranza inevitabile (sentenza n. 364 del 1988 Corte Costituzionale). Piuttosto per la Sicurezza nei Cantieri iniziava una nuova era, quella conseguente all'entrata in vigore del 494; solo nel 2006 arriva in cassazione il ricorso di quel Committente che non provvede a nominare il Coordinatore della Sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione (Cass. Pen. 29149/2006), ed in tale situazione la "nuova normativa" ebbe il suo corso, ovvero responsabilità indelegabile di nomina della figura del Coordinatore nei casi previsti per legge. La primavera della sicurezza porta alla delineazione di un nuovo percorso che diede luogo ad una serie di sentenze che si susseguirono e che si susseguono tuttora nelle aule dei tribunali, e che stanno portando ad un orientamento di quale sia la catena di responsabilità in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro. L'aver nominato un Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione, non esonera il Responsabile del Procedimento (ovvero il Committente, ndr) nel controllo dell'adeguatezza e specificità dei piani di sicurezza rispetto alla loro finalità, preordinata alla incolumità dei lavoratori (Cass. Pen. 34088/2015), ad esso viene attribuita dalla legge una posizione di garanzia particolarmente



ampia, comprendente l'esecuzione di controlli non formali ma sostanziali ed incisivi in materia di prevenzione, di sicurezza del luogo di lavoro e di tutela della salute del lavoratore. Negli ultimi anni gli "ermellini" oltre a confermare che il Committente deve ottemperare al rispetto degli obblighi normativi previsti a suo carico, affida lui anche delle posizioni di garanzia connesse ai compiti di sicurezza affinché siano rispettate le condizioni di salute e sicurezza durante la progettazione finanche all'esecuzione dei lavori. Come si è detto, il richiamo all'articolo 90 e 93 porta con sé l'addebito in capo al Committente, da parte della Corte di Cassazione, della culpa in vigilando e della culpa in eligendo. Con sentenza della Cassazione Penale Sez. 4, 13 luglio 2018, n. 32228 la Corte ribadisce la posizione di garanzia del Committente nei confronti del lavoratore autonomo al quale affida lavori edili in economia. Si riconosce al Committente la culpa in eligendo, ovvero una posizione di garanzia nei confronti del lavoratore autonomo esecutore al quale affida lavori edili in economia senza verificarne la professionalità; infatti vi è comunque l'obbligo inderogabile ed imprescindibile del Committente di verificare l'idoneità tecnico-professionale dell'impresa e dei lavoratori autonomi prescelti in relazione anche alla pericolosità dei lavori affidati, senza per questo perfezionare un contratto di appalto in forma scritta, essendo sufficiente che nella fase di progettazione dell'opera, intervengano accordi per

una mera prestazione d'opera, atteso il carattere negoziale degli stessi (Cass. Pen. 26898/2019). Allo stesso modo la Corte ha stabilito che sussiste l'obbligo di vigilanza (culpa in vigilando, ndr) del Committente sull'esecuzione delle opere affidate all'appaltatore, al fine di evitare che le modalità concrete di esecuzione delle opere appaltate non comportino per utenti terzi rischi aggiuntivi con la conseguente responsabilità solidale tra committente ed appaltatore (2055 Cod. Civ.) per i danni cagionati ai terzi (Cass. Pen. 286/2015). Si può asserire dunque, che la giurisprudenza di legittimità ha chiarito che il Committente deve adeguare la sua condotta a due fondamentali regole di diligenza: il primo nella scelta dell'appaltatore che abbia titoli di idoneità prescritti dalla legge, ma anche della capacità tecnica e professionale, proporzionata al tipo astratto di attività commissionata ed alle concrete modalità di espletamento della stessa, il secondo nel non "ingerire" nella esecuzione dei lavori. Sarà pur vero che l'intenzione del normatore era di arrivare a condannare quel Committente il quale in modo scriteriato si rende protagonista di scelte e conduzioni del cantiere inopportune che inducono a fenomeni infortunistici, ma considerati i 599 infortuni mortali (registrati in Italia nei primi 8 mesi del 2019) che interessano indistintamente tutti i settori di attività siamo propri sicuri che questa è realmente la strada giusta per arrivare alla tutela del lavoratore?

PUBBLICITÀ

I NUOVI PERICOLI NELLE AUTORIMESSE CON INFRASTRUTTURE DI RICARICA DI VEICOLI ELETTRICI



La normativa italiana per le infrastrutture, per la ricarica dei veicoli elettrici, ha affrontato il loro possibile rischio di incendio e/o di esplosione

di Giovanni Paparelli

La normativa italiana per le infrastrutture, per la ricarica dei veicoli elettrici, ha affrontato il loro possibile rischio di incendio e/o di esplosione. Un apposito gruppo di lavoro composto da tecnici dei Vigili del Fuoco, rappresentanti delle case costruttrici, rappresentanti CEI, ricercatori dell'ENEA e professionisti antincendio, nella Circolare 2 /2018 ha emanato delle LINEE GUIDA, da cui si deducono le seguenti conclusioni:

- non risulta che i veicoli elettrici presentino un livello di rischio e/o esplosione maggiore rispetto ai veicoli tradizionali;
- le stazioni di ricarica dei veicoli elettrici, che non rientrano tra le attività elencate nell'elenco annesso al DPR 151/2011, comportano solo rischi di natura elettrica;
- non si esclude che eventuali nuove ricerche, soprattutto in merito alle batterie a ioni di litio, sottoposte ad abuso termico, abuso elettrico ed urto, possano rendere opportuno, la revisione delle LINEE GUIDA stesse. Comunque, quando l'installazione di una infrastruttura di ricarica per veicoli elettrici viene inserita in una attività soggetta al controllo VV.F., come ad esempio un'autostrada, sono necessarie alcune considerazioni supplementari:

- a) l'installazione di sistemi di ricarica effettuati nel rispetto delle LINEE GUIDA sono da considerare una modifica non rilevante ai fini della sicurezza antincendio;
- b) l'installazione di sistemi di ricarica

non effettuati nel rispetto delle LINEE GUIDA sono da considerare modifiche rilevanti ai fini della sicurezza antincendio e conseguentemente si dovrà rielaborare tutto il sistema di sicurezza antincendio dell'attività.

Ciò premesso, esaminiamo i requisiti tecnici contenuti nelle LINEE GUIDA stesse. Gli obiettivi di sicurezza antincendio, quando si realizza un'infrastruttura di ricarica nel contesto di un'autostrada soggetta ai controlli VV.F. sono i seguenti:

- limitare la probabilità di costituire causa di incendio e di esplosione;
- limitare la propagazione di un incendio sia nell'ambiente di installazione sia in quelli contigui;
- non rendere inefficaci gli elementi di compartimentazione;
- consentire agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizioni di sicurezza;
- consentire un agevole intervento delle squadre di soccorso;
- dotare l'infrastruttura di ricarica di uno sgancio di emergenza elettrico.

Se quanto sopra elencato sarà attuato, gli obiettivi di sicurezza antincendio saranno raggiunti; diversamente è chiesta una specifica valutazione di rischio incendio e/o esplosione.

Dalla suesposta Circolare emerge, peraltro in modo chiaro, una sottile incongruenza. Nella prima parte, viene sottolineato come la ricarica delle batterie per i veicoli elettrici non costituisca un rischio aggiuntivo, ma poi, nel proseguo del testo, le atten-

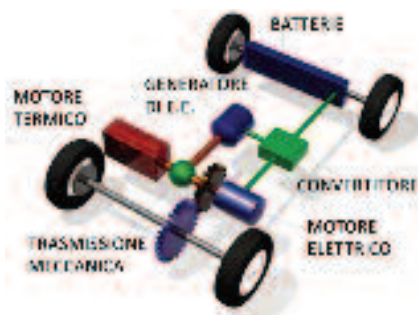


Figura 1 - Componenti principali di un'auto ibrida

zioni e precauzioni, le regole e le prescrizioni sono ben delineate e da esse traspare l'invito ad una adeguata prudenza. Si tenga inoltre presente come in alcuni Stati europei le normative appaiano ancora più restrittive. In esse viene prescritto come i punti di ricarica di veicoli elettrici debbano essere collocati al piano terra, al piano primo o al piano -1. Queste limitazioni vengono meno solo in presenza di impianti di spegnimento automatico. I punti di ricarica entro un'autorimessa non possono essere superiori a 20 per ciascun compartimento di superficie fino a 3000 mq. La potenza elettrica massima contemporanea non deve superare 125 KVA, mentre la ricarica rapida non può eccedere i 43 KVA. Ogni stazione di ricarica di veicoli elettrici deve essere separata dalle altre auto non elettriche con muri REI. Tutto ciò stimola un approfondimento in merito ai reali rischi a cui si va incontro con l'uso e la gestione delle batterie agli ioni di litio.

E' bene chiarire innanzi tutto perché l'uso del litio sia irrinunciabile nonostante i presunti maggiori rischi che esso comporta. Le motivazioni sono le seguenti. Le batterie hanno una durata di conservazione maggiore di 10 anni; raggiungono una densità energetica superiore a 120 Wh/kg mentre una batteria a umido al Pb non supera i 30 Wh/kg. L'uso di que-

ste batterie innovative è ormai diffuso per telefoni cellulari, video camera, giocattoli, nel fotovoltaico e, ovviamente, nei veicoli elettrici a due o a quattro ruote.

Analizziamone i rischi.

Rischio termico: la temperatura ideale di una batteria al litio è compresa tra 20 e 40 °C. In caso di temperature negative, si possono formare dei depositi di litio sull'anodo riuscendo a provocare a volte un corto circuito interno.

La temperatura massima di utilizzo di una batteria al litio è + 60°C; se la temperatura dovesse superare questa soglia, la pressione nelle cellule delle batterie aumenterebbe fino ad espellere un gas infiammabile. Quindi per temperature elevate, si possono avere incendi ed esplosioni.

Queste ultime considerazioni ci fanno capire come sia pericoloso lasciare d'estate, dentro all'abitacolo della propria auto, magari parcheggiata al sole, il telefonino o il computer portatile, entrambi contenenti batterie al litio.

Vediamo cosa succede alle batterie al litio ai vari stadi di temperatura:

- +70°C: l'elettrolita ivi presente comincia ad evaporare, con aumento di pressione, fino a raggiungere l'esplosione della batteria;
- + 130°C: l'isolante in PE fondendo determina lo spegni-

mento della batteria (shutdown). Si formano corto-circuiti;

- +250°C: aumento della pressione nelle cellule della batteria ed emissione di gas infiammabile;
- +660°C: fusione del catodo. Emissione di grafite con rischio di esplosione. L'alluminio dell'elettrodo positivo comincia a bruciare (fuoco dei metalli).

Vediamo cosa succede alle batterie al litio ai vari stadi di temperatura:

Nelle batterie al litio può verificarsi una crescita termica (thermal runaway), ovvero una reazione chimica esotermica che si autoalimenta fino a raggiungere la fase di incendio dei metalli. È pur vero che le cellule di una batteria al litio sono ben sigillate e protette, ovvero sono stagne rispetto al gas, in modo tale che durante il loro funzionamento normale nessun gas viene emesso, ma è altrettanto vero come nel caso in cui la scatola protettrice della batteria venisse danneggiata meccanicamente o termicamente a causa di un incendio, diverse sostanze corrosive, tossiche, cancerogene e infiammabili potrebbero sfuggire sotto forma di polvere, gas o liquido.

Si comprende quindi come in un incidente che coinvolga un'auto elettrica, a parità di gravità rispetto ad un analogo incidente con un veicolo a trazione ordinaria, si possano avere conseguenze negative ben maggiori. Le auto elettriche, in caso di incidente, rappresentano quindi una nuova sfida per i soccorsi e principalmente per i Vigili del Fuoco, i quali non solo dovranno proteggersi dal fuoco ma, nel caso di batterie al litio, devono anche difendersi da tutte quelle sostanze chimiche che vengono emesse da una batteria elettrica danneggiata.

In altri termini, il salvataggio di persone o il recupero di veicoli elettrici accidentati, espongono i Vigili del Fuoco a rischi specifici dovuti sia alle tensioni elevate, sia alle emissioni nocive. Dopo un incidente si può avere la rottura della; scatola protet-

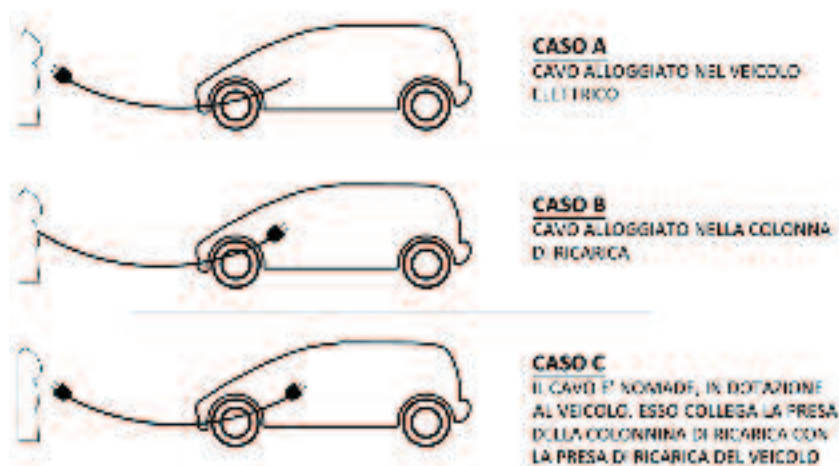


Figura 2 - In evidenza i tre tipi di connessione ammessi nelle stazioni di ricarica di veicoli elettrici

TEMPO DI PARCHEGGIO	PRESA RACCOMANDATA PER LA RICARICA	VELOCITÀ DI RICARICA
FINO A 3 ORE	3,7 - 11 kW AC	NORMALE / ACCELERATA
FINO A 2 ORE	3,7 - 11 kW AC	NORMALE / ACCELERATA
2 - 4 ORE	3,7 - 11 kW AC	NORMALE / ACCELERATA
1 - 2 ORE	22 kW AC + DC	RAPIDA
30-30 MINUTTA 1 ORA	> 50 kW DC	SUPER - RAPIDA
MENO DI 30 MINUT	> 50 kW DC (150kW)	ULTRA - RAPIDA

Figura 3 - Presa di ricarica raccomandata in funzione della velocità di ricarica necessaria

tiva delle batterie o il danneggiamento del cavo conduttore dell'energia elettrica al motore elettrico. Si possono formare archi elettrici capaci di innescare un incendio. Se l'involucro della batteria, dopo l'incidente, avesse i moduli interni in corto circuito con la carrozzeria, diventerebbe addirittura letale un approccio che comporti di toccare la carrozzeria stessa.

Ecco perché i Vigili del Fuoco, che si accingono ad intervenire su un'auto elettrica incidentata, avranno in dotazione dei nuovi DPI quali i guanti da elettricista, il casco isolante con visiera, utensili isolanti, telo isolante per ricoprire le parti in tensione.

Sia le batterie che il motore elettrico e il convertitore sono caratterizzati da alta tensione. Esaminiamo ora i rischi a cui si va incontro durante la normale gestione delle fasi di ricarica di un veicolo elettrico.

Sovraccarico. Le cellule della batteria al litio sono ricaricate secondo modalità specificate dal costruttore. Quando peraltro una cellula è carica, non può più accumulare altra energia. Se questo inutile tentativo dovesse comunque aver luogo perché ad esempio i dispositivi di interruzione della ricarica (teleruttori e fusibili) non dovessero funzionare, si ha un sovraccarico termico con surriscaldamento della batteria. Si ha evaporazione del liquido elettrolita che comporta un aumento di pressione e quindi la rottura dell'involucro con esplosione e incendio.

In conclusione, sembra di compren-

dere come le auto elettriche, sia in caso di incendio, sia durante il loro normale momento di ricarica della batteria, abbiano qualche rischio in più di prestare attenzione.

Approccio ad una infrastruttura di ricarica di veicoli elettrici

L'area per la ricarica dei veicoli elettrici dovrà essere opportunamente segnalata; dovrà essere dotata di estintori idonei all'uso su apparecchi elettrici in tensione e una cartellonistica di sicurezza adeguata.

Cerchiamo ora di acquisire una maggiore familiarità con i componenti propri di una stazione di ricarica.

Tipi di connessione normati

Attualmente i tipi di connessione normati sono 3, come mostrato in figura 2. La Circolare N. 2 raccomanda di verificare sempre il cavo di connessione prima di ogni utilizzo; nel caso in cui il cavo abbia la schermatura metallica, questa dovrà essere messa a terra.

Metodi di carica

Per chi si accinge ad effettuare la ricarica del proprio veicolo elettrico, è rilevante selezionare il metodo più opportuno. La Circolare 2 ne evidenzia 4:

- **Modo 1:** si utilizzano prese e spine normate, di intensità della corrente elettrica fino a 16 A;

- **Modo 2:** si utilizzano prese e spine normate, di intensità della corrente elettrica fino a 32 A;

- **Modo 3:** il collegamento del cavo elettrico alla rete di ricarica avviene utilizzando apparecchiature dedicate, installate presso l'impianto di ricarica stesso;

- **Modo 4:** con questo metodo il caricabatterie non è più nel veicolo, ma nella stazione di ricarica.

Energia richiesta dai veicoli elettrici e tempi di ricarica

Per avere un'idea approssimativa del tempo necessario, espresso in kWh, è sufficiente dividere l'energia nominale in kW da caricare per la potenza nominale in kW della presa di ricarica. Esempio: per caricare 18 kWh, necessari per percorrere 100 km circa, utilizzando una presa di ricarica con una potenza nominale di 3,7 kw, è necessario un tempo $t = (18/3,7) \times 1,2 = 5,83$ h; essendo 1,2 un coefficiente di sicurezza. In Fig. 4 sono illustrate le combinazioni possibili per ricarica dei veicoli in funzione di uno dei quattro Modi previsti.

MODO	1	2	3	4
ULTRA - VELOCE				●
SUPER - VELOCE				●
VELOCE		○	●	●
ACCELERATA	○	○	●	●
NORMALE	○	●	●	○
RICARICA PER RIPARAZIONI	○	●	○	○
RICARICA DOMICILIARE	○	●	○	○

○ COMBINAZIONI POSSIBILI ● COMBINAZIONI UTILIZZATE

Figura 4 - Videata delle combinazioni possibili per la ricarica di un veicolo elettrico

Energia richiesta	3,7	4,5	6,6	11,1	11,1
tempi di ricarica in ore per prese da 3,7 kW	1,0	1,5	2,0	3,0	3,0
tempi di ricarica in ore per prese da 11 kW	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0
km percorsi al giorno	20	30	40	60	60
tempi di ricarica in ore per prese da 3,7 kW	1	1,5	2,0	3,0	3,0
tempi di ricarica in ore per prese da 11 kW	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0

Figura 5 - Tabella che esprime i tempi di ricarica e i km percorsi in relazione alla potenza della batteria e alla potenza della presa

Le combinazioni utilizzabili sono indicate in rosso.

In Fig. 5 sono indicati i tempi di ricarica per prese da 3,7 kW e prese da 11 kW in funzione della potenza della batteria, oltre al numero di km percorsi giornalmente con il veicolo e i tempi di ricarica con le due prese proposte.

Segnaletica di riconoscimento per parcheggi che accolgono anche veicoli elettrici per la loro ricarica

Al fine di evitare che i posti dedicati ai veicoli elettrici siano occupati da



Figura 6 - Segnaletica verticale indicante la presenza di spazi e infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici

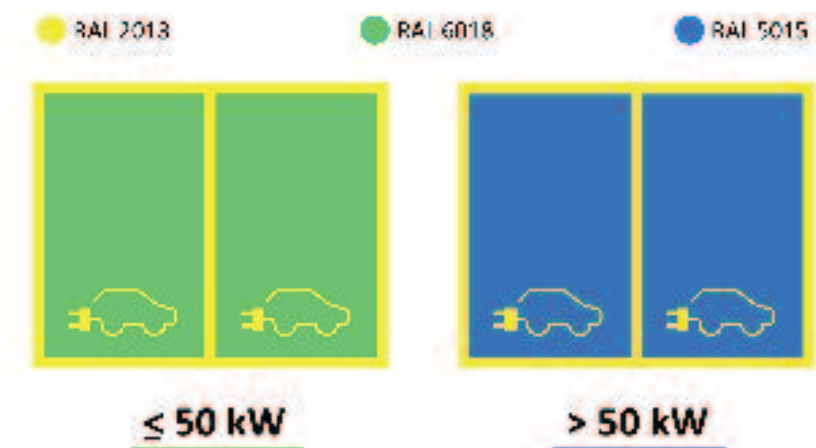


Figura 7 - Segnaletica orizzontale per veicoli richiedenti ricariche fino a 50 kW (colore verde) e oltre 50 kW (colore blu)

altri, sarà necessaria una segnaletica verticale e orizzontale.

La prima è intuitiva (Fig. 6).

La seconda (Fig. 7) comprende una colorazione di colore verde (RAL 6018) dell'intero spazio auto dedicato alla sosta per ricariche fino a 50 kW e una colorazione in blu (RAL 6015) degli spazi dedicati alle ricariche maggiori di 50 kW.

In Fig. 8 è rappresentato un gruppo di posti auto in una stazione di servizio autostradale, ciascuna dotata di una propria colonnina di ricarica. La colorazione blu evidenzia che le ricariche richiedono una potenza superiore a 50 kW.

Conclusioni

Con quanto illustrato non si vuole di certo far parte dei detrattori delle auto elettriche, ritenendo che esse siano più pericolose delle auto a benzina, diesel o a gas. Certe tesi negative sono state supportate da alcune auto elettriche incendiate nell'anno 2013, ma dopo quell'esor-

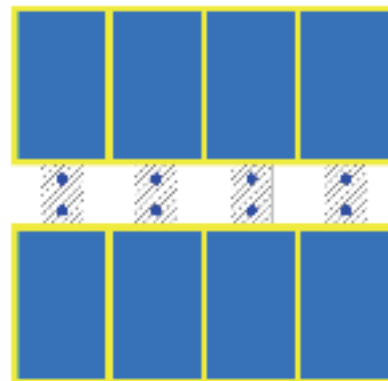


Figura 8 - Gruppo di posti auto in una stazione di servizio autostradale. Ricariche di potenza > 50kW

dio non troppo felice, i giudizi sulla mobilità elettrica sono decisamente cambiati. Negli Stati Uniti, nazione in cui si incendiano 150.000 auto all'anno, si ha un sinistro ogni 20 milioni di miglia percorse, valore del tutto poco significativo.

Ciò nonostante, un'auto elettrica non è a rischio zero, né con le batterie tradizionali, né con quelle al litio.

Le batterie storiche al Pb, AL Ni o al Cd, non presentano rischi particolari d'incendio, mentre quelle più moderne richiedono qualche precauzione in più nel loro utilizzo.

Esse infatti diventano pericolose quando sono sottoposte ad un sovraccarico e quando l'elettrolita contiene delle impurità. L'eventuale incendio di queste batterie emana inoltre gas nocivi, difficili da gestire con i sistemi tradizionali di estinzione. Note queste caratteristiche, peculiari delle batterie al litio, si prendono le necessarie precauzioni, riscontrando infine come l'uso della mobilità elettrica richieda solo qualche accortezza in più. Il tutto può essere meglio sintetizzato dalla frase dello scrittore Stefano Nasetti, autore del libro dal titolo: "Il lato oscuro della luna", il quale afferma: "Il problema non è la tecnologia, ma l'uso che se fa. Ogni cosa comporta dei rischi, l'importante è esserne consapevoli e valutare se il prezzo che paghiamo è adeguato a quanto riceviamo in cambio".

PUBBLICITÀ

PUBBLICITA'