



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

N 1/2025

# Quaderno

TRAM - SPAZIO - MALWARE - APPALTI



In copertina:  
Immagine di repertorio



# Il saluto del Presidente

Ing. Massimo Cerri



## *L'Istituto della Riserva*

Nel complesso “gioco” della procedura che porta alla realizzazione di un’opera pubblica, la fase della gestione e di esecuzione del contratto di appalto, che segue l’aggiudicazione, rappresenta senz’altro un momento particolarmente delicato per il rapporto tra le parti contraenti.

Non di rado accade, infatti, che l’esecuzione dell’appalto dia luogo a controversie relativamente a contestazioni dell’appaltatore.

Queste alimentano il contenzioso tra committente e impresa, con pesanti ricadute sui tempi di consegna delle opere, sull’esecuzione stessa della commessa e sui costi dell’opera.

Da un lato, proprio i costi dell’opera pubblica e la possibilità che questi subiscano un notevole incremento conseguentemente alle contestazioni dell’appaltatore, impongono l’adozione di strumenti che garantiscano la continua evidenza della spesa e il suo controllo, in armonia con il bilancio pubblico. Occorre, infatti, tenere a mente il contesto operativo in cui il rapporto contrattuale si sviluppa.

Un contesto di evidenza pubblica dove essenziale è il rispetto dei noti principi costituzionali dell’azione della Pubblica Amministrazione: pubblicità, trasparenza, efficienza, efficacia, economicità.

Da altro lato, non può essere ignorata l’altrettanto meritevole esigenza dell’impresa appaltatrice di assicurarsi le entrate previste dall’esecuzione dell’opera, senza dover subire danni economici derivanti dalle sospensioni dell’esecuzione, dalla mancata contabilizzazione dei lavori rispetto alle previsioni progettuali o ancora senza dover affrontare ulteriori costi non preventivati, ma facilmente preventivabili in seno a un progetto esecutivo correttamente elaborato.

È qui che interviene la riserva, strumento attraverso il quale è possibile verificare con regolarità e continuità l’andamento dei costi dell’opera pubblica, a garanzia di entrambe le parti del contratto di appalto. In altri termini, allorquando si verificano cambiamenti che incidono sulle modalità e sui termini del contratto di appalto, l’esecutore potrà iscrivere riserva contestando l’accaduto.

Nel nuovo Codice degli Appalti viene dedicata un’adeguata attenzione all’istituto delle riserve.

Nello specifico l'articolo 7 dell'Allegato II. 14 dell'articolo 115 del nuovo Codice (Controllo tecnico contabile e amministrativo) testualmente recita:

*“In linea di principio, l'iscrizione delle riserve è finalizzata ad assicurare alla stazione appaltante, durante l'intera fase di esecuzione del contratto, il continuo ed efficace controllo della spesa pubblica, la tempestiva conoscenza e valutazione, sulla base delle risultanze contenute nel registro di contabilità, delle eventuali pretese economiche avanzate dall'appaltatore e l'adozione di ogni misura e iniziativa volte a evitare che i fondi impegnati si rivelino insufficienti”.*

Lo strumento della riserva sottende, quindi, un principio basilare legato alla necessità di tenere sotto costante controllo l'andamento della spesa pubblica relativamente alla realizzazione dell'opera.

A tale principio si legano due corollari ovvero: quello legato alla necessità di avviare immediatamente gli accertamenti sulla fondatezza delle richieste avanzate dall'appaltatore (tramite la comunicazione al RUP e la redazione della relazione riservata); quello di assumere tempestivamente gli adempimenti del caso ( proposta di accordo bonario su tutte).

In tale contesto la riserva rappresenta lo strumento che l'Appaltatore può e deve utilizzare per far valere le proprie ragioni, svolgendo al contempo un'utile funzione di controllo della spesa oltre che di equilibrio economico-contrattuale. E' consequenziale ritenere che a ben vedere la riserva rappresenta una forma di trasparenza operativa nel giusto contraddittorio esecutore-committente.

L'operato dell'Ordine che si esplica sia attraverso seminari formativi sia attraverso i quaderni e le riviste è teso a indicare la giusta direzione, il corretto comportamento, sia per chi si trova dalla parte dell'Impresa impegnato in una commessa edile, sia per chi deve gestire tale procedura per conto del Committente.

Ing. Massimo Cerri  
Presidente

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

# L'Editoriale

Ing. Maria Elena D'Effremo



Care Colleghe e cari Colleghi,

vorrei aprire questa prima pubblicazione del Quaderno IO Roma 2025 sottolineando l'impegno dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma in settori che vanno anche oltre l'ingegneria. L'Ordine, infatti, oltre a essere un punto di riferimento per la professione, si impegna su temi a sostegno dei professionisti e del loro percorso professionale e non.

È per questo che tra l'elenco delle Commissioni, disponibile sulla pagina dell'Ordine nella sezione "Servizi agli iscritti" sotto la voce "Commissioni", troviamo le Commissioni Open, che hanno lo scopo di aggregare gli iscritti su temi non riguardanti la professione dell'ingegnere. Il Regolamento delle Commissioni prevede che ogni iscritto all'Ordine possa far parte al massimo di una Commissione Tematica, ma nessuna limitazione in tal senso è posta per l'iscrizione alle Commissioni Open. Vale a dire che ogni iscritto all'Ordine può far parte di diverse Commissioni Open. Sono Commissioni che hanno lo scopo di aggregare gli iscritti e sostenere i professionisti, le

Commissioni che si dedicano a tematiche quali sport, giovani ingegneri, pari opportunità, soft skills, coaching.

Inoltre, l'Ordine degli Ingegneri sostiene, attraverso alcuni Sportelli, percorsi personali a completamento della professione, dallo Sportello "Carriera, competenze e crescita professionale" allo sportello "Comunicazione", perché non potremmo essere i professionisti che siamo senza dare priorità alla nostra energia, alle nostre emozioni, all'empatia e alla capacità di comunicazione.

Chiudo dicendo che quest'anno l'Ordine ha voluto esprimere il proprio sostegno alla Race for the cure, invitando gli iscritti a partecipare, con l'augurio di essere sempre più uniti e in tanti a sostegno di temi che ci riguardano tutti, chi più chi meno, da vicino.

Non mi resta che augurarvi buona lettura, ricordandovi che nell'ottica di un approccio più agile e mirato alla condivisione, anche IO Roma si è dotata di una pagina LinkedIn, "IO Roma Rivista dell'Ordine Ingegneri della provincia di Roma", che vi invito a seguire, così come vi invito a consultare la pagina <https://ioroma.info/>.

Ing. Maria Elena D'Effremo  
Direttrice Editoriale



**Direttrice responsabile**

Marialisa Nigro

**Direttrice editoriale**

Maria Elena D'Effremo

**Comitato di redazione**

**Sezione A**

Massimo Cerri

Silvia Torrani

Micaela Nozzi

Stefania Arangio

Fabrizio Averardi Ripari

Michele Colletta

Alessandro Fuschiotto

Marco Ghimenti

Giorgio Martino

Giovanni Nicolai

Paolo Reale

Mauro Villarini

**Sezione B**

Alfredo Simonetti

**Amministrazione e redazione**

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

Tel. 06 4879311 - Fax 06 487931223

**Direttore creativo e progettazione grafica**

Tiziana Primavera

**Assistenza Editoriale**

Leonardo Lavallo

Antonio Di Sabatino

Emanuela Cariani

**Referente FOIR**

Francesco Marinuzzi

**Immagini fuori testo**

Foto di Roma attuali

Maria Elena D'Effremo

**Stampa**

Press Up

**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma**

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

[www.ording.roma.it](http://www.ording.roma.it)

[segreteria@ording.roma.it](mailto:segreteria@ording.roma.it)

[editoriale@ording.roma.it](mailto:editoriale@ording.roma.it)

**Finito di stampare:** Maggio 2025

Il Quaderno IOROMA è una estensione alla rivista IOROMA

La Direzione rende noto che i contenuti, i pareri e le opinioni espresse negli articoli pubblicati rappresentano l'esclusivo pensiero degli autori, senza per questo aderire ad esse.

La Direzione declina ogni qualsiasi responsabilità derivante dalle affermazioni o dai contenuti forniti dagli autori, presenti nei suddetti articoli.



**MISTO**  
Carta | A sostegno della  
gestione forestale responsabile  
**FSC® C109382**

**GLI EDITORIALI**

Il saluto del Presidente <i>di Massimo Cerri</i>	2
L'Editoriale <i>di Maria Elena D'Effremo</i>	4

**INDICE**

Il tram a Roma: dalla ripresa ad oggi <i>Giovanni Mantovani</i>	08
Lo Sviluppo della Propulsione spaziale a Idrogeno <i>Mario Caporale</i>	24
Industry 4.0 e computer aided engineering in un esempio di analisi computazionale di massima <i>Emanuele Basile</i>	38
Colonial Pipeline Attack: un attacco ransomware ad una infrastruttura critica statunitense <i>Massimo Giustiniani</i>	50
Lavorazione per deformazione plastica: i laminati in alluminio <i>Fabio Scali</i>	66
L'istituto della Riserva negli appalti pubblici secondo il nuovo Codice degli Appalti D.Lgs. 36/2023 <i>Marco Sovera, Marta Carlucci</i>	82

<b>L'AREA WEB DEL QUADERNO E DELLA RIVISTA</b>	<b>94</b>
--	-----------



*Autore:*  
Ing. Giovanni Mantovani

*Commissione:*  
Sistemi di trasporto  
rapido di massa

# I TRAM A ROMA: DALLA RIPRESA AD OGGI (1983 - 2025)





9225



## 1. La rete torna a crescere (1983-2013)

### 1.1 Nuovi binari, la diramazione per Piazza Mancini (1983)

Non ebbero esito i propositi di ristrutturazione del tratto terminale della linea 30, basati su una vantaggiosa deviazione da Via Aldrovandi - Viale Belle Arti a Viale Parioli - Viale Pilsudski e sul prolungamento verso il quartiere Aurelio (che si sarebbe però sovrapposto per una lunga tratta a quello della metropolitana "A"). Lo scarso carico rilevato sulla tratta tranviaria in Prati e la possibilità di ricostruire una tratta sulla Via Flaminia, abbandonata nel 1960, suggerirono invece la deviazione della linea 19, dall'intersezione di Viale delle Belle Arti con la Via Flaminia, verso Piazza Mancini (in prossimità di Ponte Milvio e dello Stadio Olimpico). La costruzione dei nuovi impianti incontrò però difficoltà a causa di una sollevazione dei commercianti locali contro il doppio binario protetto in un lungo tratto di Via Flaminia, che avrebbe penalizzato il parcheggio; il progetto venne quindi modificato, lasciando in Via Flaminia, tra Via Viale Belle Arti e Viale Pinturicchio<sup>1</sup>, un solo binario e collocando l'altro nel parallelo Viale Tiziano, in uniformità di senso di marcia rispetto al traffico ordinario. Tra il marciapiede (troppo stretto, in via Flaminia) e la sede tranviaria è interclusa una corsia per il traffico locale e la sosta. Dall'estremità di Viale Tiziano il binario raggiunge Piazza Mancini percorrendo viale Pinturicchio in centro strada tra le alberate e ritorna poi, sulla Via Flaminia con la stessa configurazione, attraverso le Vie Poletti e Masaccio. Il nuovo percorso della linea 19 entrò in funzione nel 1983 e la rete crebbe così di quasi 2 km (di doppio binario equivalente).

### 1.2 La linea protetta Piazzale Flaminio Piazza Mancini (1990, 2010)

#### 1.2.1 Genesi e realizzazione della linea

Se le Olimpiadi del 1960 contribuirono a ridurre severamente la rete tranviaria romana, i Campionati mondiali di calcio del 1990 permisero di dare un discreto segno di ripresa, non tanto per l'estensione degli impianti realizzati in tale occasione, quanto per il nuovo approccio di sistema. Nell'imminenza dei Campionati si è realizzato un collegamento tranviario tra Piazzale Flaminio e Piazza Mancini, in buona parte sul tracciato della linea attivata nel 1877 e di quella che fu esercitata fino al 1960.

Naturalmente tale collegamento non fu concepito soltanto in funzione dei Campionati, per offrire un vettore capace e veloce tra la metropolitana "A" e la zona dello Stadio, ma ha avuto il suo fondamento nella sopravvenuta riconsiderazione, anche da parte dell'Amministrazione comunale romana, della funzione che possono avere nelle grandi città le moderne tranvie, come sistemi intermedi, integratori della rete delle metropolitane; la nuova linea del Flaminio è nata con l'obiettivo specifico di fornire un mezzo di trasporto rapido ed efficiente tra un nodo di scambio nella prima periferia Nord ed il margine del centro storico, dove passa la metropolitana "A", eliminando la penetrazione verso il centro di numerose linee di autobus, che vennero arretrate al nodo di scambio. Agli utenti di queste linee fu dato così il disagio di un cambio di veicolo, compensato però da un tempo di viaggio sul tratto tranviario notevolmente ridotto (circa 10 minuti in luogo di 20 od anche 30, nelle ore di punta). Presso il nodo di scambio fu anche realizzato un parcheggio, per indurre a lasciare lì l'automobile e proseguire col tram.

Figura 1 - Costruzione dei nuovi raccordi tra Viale delle Belle Arti e Via Flaminia, aprile 1990.





Figura 2 - Via Giambattista Vico, la discutibile barriera non impediva l'invasione della sede tranviaria.

In accordo con l'obiettivo funzionale, la linea fu progettata secondo i moderni criteri che devono necessariamente guidare le nuove realizzazioni tranviarie, evitando di concepire le tranvie in chiave nostalgica. Ciò ha comportato anzitutto la riservazione esclusiva della sede, la sua protezione fisica e la priorità di transito alle intersezioni, tutte regolate da impianti semaforici; si è parlato così per qualche tempo, impropriamente, di "metropolitana leggera". Non è quindi bastato costruire la breve tratta tra Piazzale Flaminio e Via Azuni (Piazza della Marina) ma si è dovuto intervenire anche sugli impianti esistenti, per ricostruirli su diverso tracciato (tra Via Azuni e viale delle Belle Arti, dove si è collocato lateralmente il doppio binario, a fianco di un marciapiede, nonché sul nodo Flaminia/Belle Arti/Tiziano) o per riqualificarli (da detto nodo a Piazza Mancini). Sulla tratta centrale, tra Piazzale Flaminio e Via Azuni, al fine di non penalizzare eccessivamente il traffico ordinario in Via Flaminia e di consentire la protezione della sede, si scelse di separare i due sensi di marcia, installando, con un certo azzardo, un binario protetto con barriere in Via Flaminia e uno in senso opposto nelle parallele vie Vico e Gianturco, in ambedue i casi in centro strada. Le barriere destarono però forti proteste e non impedivano del tutto gli attraversamenti. La linea entrò in funzione il 7 giugno 1990, esercitata con i tram articolati Stanga, che presto furono sostituiti dai Socimi; poi tornarono gli Stanga e comparvero anche i PCC. Era denominata "225" ma divenne "2" nel 2000<sup>2</sup>.



Figura 3 - Il primo tram della linea 225 arriva da Viale delle Belle Arti, alle 5:42 del 7 giugno 1990.



Figura 4 - Il nuovo capolinea della linea 2, nel primo giorno.

Il capolinea periferico di Piazza Mancini si trova tuttora sull'ampia racchetta attivata nel 1983. Quello centrale ha invece subito ripetute modifiche. In origine, al binario che, su Piazzale Flaminio, collegava Via Vico con Via Flaminia e permetteva l'uso di tram unidirezionali, si aggiungeva un capolinea tronco a tre binari sullo slargo antistante la stazione della Roma Nord, a lato di un accesso alla metro A, concepito in funzione dei nuovi tram bidirezionali Socimi. Tale capolinea tronco non è però mai entrato in funzione, dapprima per l'impossibilità di azionare gli scambi con il lancio di corrente mediante la slitta sulla linea di contatto, poiché i tram potevano presentarsi col pantografo tanto in testa quanto in coda; poi, risolto questo problema con l'adozione del radiocomando degli scambi, sopraggiunse un progetto di riqualificazione urbana<sup>3</sup> di Piazzale Flaminio e adiacenze, che decretò la demolizione degli impianti del capolinea tronco, attuata nel 2001 assieme al raddoppio del binario su Piazzale Flaminio. Non finì così, perché il disagio causato dai binari in centro strada nelle vie Giurturco, Vico e Flaminia, protetti con le barriere, portò a riconsiderare il tracciato e sviluppare un progetto di riqualificazione di quelle tratte stradali. Si collocarono ambedue i binari in Via Flaminia, lasciando in quasi tutto il tratto una corsia per il

traffico locale, e all'inizio della stessa Via Flaminia si collocò un funzionale capolinea tronco, entrato in funzione nel 2010<sup>4</sup>.

La realizzazione della linea ha determinato alcune modifiche delle discipline di traffico e, di conseguenza, qualche penalizzazione per la circolazione veicolare privata, accettata peraltro senza significative contestazioni<sup>5</sup>.

### 1.2.2 La linea 2 oggi

Dopo qualche contrasto iniziale, la linea ha guadagnato il favore del pubblico e 35 anni di esercizio ne ha confermato la validità, anche se la frequentazione è inferiore a quella che si assegna a una moderna tranvia. Inoltre, l'itinerario è breve (sviluppa solo 2,7 km, calcolando l'anello terminale come doppio binario equivalente) e non può assolvere con piena efficacia la funzione di collettore delle direttrici Flaminia e Cassia. La posizione di Piazza Mancini è già troppo centrale e il tragitto di adduzione, in autobus o su mezzo privato, è quindi in molti casi rilevante rispetto alla tratta tranviaria. La qualità complessiva dello spostamento su mezzo pubblico resta quindi bassa, mentre chi arriva fino a Piazza Mancini su mezzo privato è indotto a proseguire senza scambiare. Un netto miglioramento si avrà col previsto prolungamento a Vigna Clara.

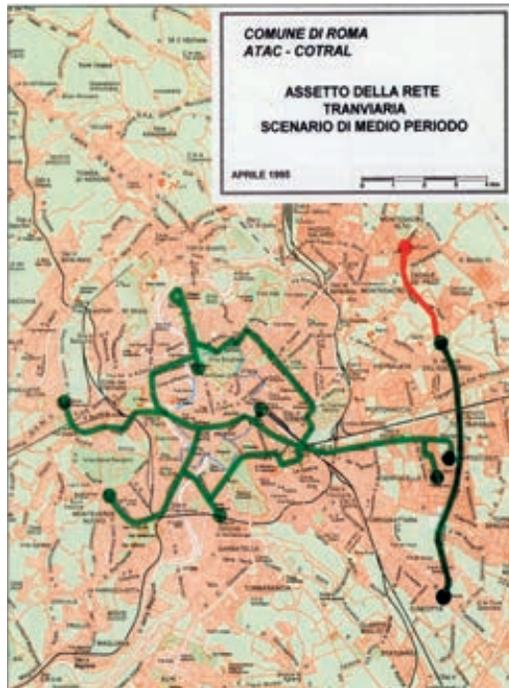


Figura 5  
La rete tranviaria di medio termine, nell'«Agenda del Trasporto Pubblico» (Comune di Roma).

### 1.3 Altri progetti (1993) e la «Cura del Ferro» (1995)

Del risvegliato interesse per la rete tranviaria c'è traccia in un «Piano Tram» dell'ATAC del 1993. Nel documento si rilevano difetti e limiti della rete esistente, si prendono in considerazione il «tram moderno», con elevata capacità (e quindi veicoli più lunghi), sedi completamente protette, priorità semaforica, esercizio in modo Unilinea<sup>6</sup>; se ne propongono quattro realizzazioni radiali e una tangenziale<sup>7</sup>:

- Direttrice Prenestina: riqualificazione della linea esistente;
- Direttrice Gianicolense: Casaletto - Piazza Venezia (da prolungare in un secondo tempo a Bravetta);
- Direttrice Flaminia: prolungamento della linea 225 fino a Vigna Clara, con la realizzazione di un grosso nodo di scambio con linee autobus (concepito in ATAC già molti anni prima);
- Direttrice Nomentana: a tempi lunghi, Termini - Via Nomentana, fino all'altezza di Viale Kant;
- Direttrice Togliatti: Cinecittà - Ponte Mammolo - Val Melaina (per la quale si riporta anche un'ipotesi di metro leggera automatica).

Sarebbe rimasta di tipo tradizionale la linea semianulare 30, limitata in Via Induno per non interferire con l'unilinea di Viale Trastevere<sup>8</sup>.

Già all'inizio del mandato del 1993, l'Amministrazione comunale affrontò il problema di un piano organico dei trasporti pubblici su ferro, ritenuto necessario per riequilibrare i rapporti tra mobilità pubblica e privata, in progressivo miglioramento. Il piano fu concepito analizzando in modo integrato i tre sistemi su ferro (ferrovie, metropolitane e tranvie) e fu presentato nel 1995 con l'«Agenda del Trasporto pubblico», che per la rete tranviaria prevedeva:

- nell'immediato (1997-1998), l'acquisizione di nuovo materiale rotabile, l'ammodernamento della rete esistente, la realizzazione della linea radiale Casaletto - Piazza Venezia e la riorganizzazione dei depositi;
- a breve termine, la realizzazione della linea diametrale Termini - Piazza Venezia - San Pietro, della sua prosecuzione fino a Piazza dei Giureconsulti, della linea tangenziale sulla direttrice di Viale Togliatti (da Cinecittà a Ponte Mammolo)<sup>9</sup>, della speciale linea «Archeotram», mediante una nuova tratta da Porta San Paolo a circonvallazione Ostiense e poi fino al bordo dell'Appia Antica;
- a medio termine, il prolungamento della linea tangenziale di viale Togliatti fino a Montesacro alto (Via Ugo Oietti).

Per le tranvie non venivano formulate previsioni a lungo termine.

Successivamente, l'Amministrazione comunale ha concepito anche altre nuove linee.

### 1.4 La linea Casaletto - Centro (1998, 2013)

#### 1.4.1 Genesi

La Casaletto - Centro è stata l'unica linea tranviaria finora realizzata, di quelle della «cura del ferro», ma ha rappresentato un segno ancora più forte della ripresa tranviaria a Roma. Si tratta di una radiale, oggi di 5,6 km, che collega il quartiere di Monteverde Nuovo, attraverso Trastevere, con il bordo di Piazza Venezia, nel pieno centro della città; il tram, in una nuova forma, è tornato in luoghi dai quali era stato espulso dalla riforma del 1930.

Già alla fine degli anni '80 era stato concepito il disegno di una moderna linea tranviaria destinata a collegare Monteverde Nuovo e Trastevere (esclusi da prospettive realistiche di una linea metropolitana) con il centro della città, prevedendone anche il prolungamento fino alla stazione Termini. L'Amministrazione comunale decise nel 1991 di dare attuazione al lotto funzionale tra la stazione FS di Trastevere e Via di San Marco (al margine di Piazza Venezia), in-

serendo il progetto nel programma per Roma Capitale (legge 396/90) ed accedendo così alla possibilità di finanziamento per una parte della spesa prevista per il lotto. L'anno successivo fu promulgata la legge 211/92, per lo sviluppo del trasporto rapido di massa, e l'Amministrazione comunale ha presentato subito l'istanza per accedere al finanziamento, in modo da accompagnarlo a quello di Roma Capitale e da consentire così di estendere l'attuazione lungo la Circonvallazione Gianicolense, fino alla zona di Via del Casaletto.

Nel corso dello sviluppo del progetto emersero presto emersi dei problemi ed in particolare il previsto transito per Via Florida, approvato dalla Sovrintendenza ai Beni ambientali, fu osteggiato da quella archeologica. Via Florida giace infatti su un impalcato che protegge ruderi dell'Area Sacra e si temeva che la tranvia potesse costituire un ostacolo all'ipotesi di una futura eliminazione della strada. Il tracciato fu così deviato per Via e Largo di Torre Argentina, dando luogo al discusso passaggio davanti al Teatro Argentina e ad una rosa di tre alternative per la posizione del capolinea: nello stesso largo di Torre Argentina, in Via del Plebiscito (presso Piazza Venezia, per dare migliore accessibilità alla linea) o addirittura in Via Battisti, subito dopo Piazza Venezia (quasi un primo passo del balzo a Termini). Intanto il Comune aveva lanciato la "cura del ferro" e la linea in progettazione divenne un ramo della "Y" tranviaria centrale prevista dall'«Agenda».

Nel novembre del 1995 il progetto, con il capolinea interno a Largo di Torre Argentina, fu approvato dalla Conferenza dei Servizi conclusiva, mentre nel mese successivo, sgombrato il campo da ipotesi di declassamento rispetto la tipologia di tranvia veloce previsto dalla legge e permettendo di passare alla realizzazione.

#### 1.4.2 Caratteristiche

Il capolinea interno, inizio della tratta di nuova costruzione, fu posto in Via di Torre Argentina; tra le tre ipotesi sopra menzionate era stato scelto Largo di Torre Argentina, ma in corso d'opera l'Amministrazione comunale, in vista di un prossimo prolungamento verso Termini, ritenne di evitare allora alla cittadinanza il disagio del cantiere sulla direttrice di Corso Vittorio Emanuele II e quindi l'inizio del tracciato fu arretrato in Via di Torre Argentina, presso Via del Sudario<sup>10</sup>. Nei primi giorni di esercizio ci si rese conto che la sosta di capolinea presso il fronte del Teatro Argentina era inopportuna e si realizzarono nuove banchine di arrivo e di partenza in largo Arenula, utilizzando la tratta di via di Torre Argentina, dotata di una comunicazione doppia, solo come asta di manovra.

Dopo Via Arenula, oltrepassato il Tevere su ponte Garibaldi, il tracciato si sviluppa su tutto il Viale Trastevere e successivamente, in ascesa praticamente continua, su Circonvallazione Gianicolense, fino all'altezza di Via del Casaletto. Dopo il triangolo allo sbocco di Via Induno (presso il Ministero della Pubblica Istruzione) e



Figura 6 - Via Arenula, costruzione dell'armamento su platee prefabbricate, giugno 1997.

fino al bordo di Piazza San Giovanni di Dio (con l'eccezione della tratta di Piazza Nievo, dove era opportuna una rettifica di tracciato) sono stati utilizzati i binari preesistenti, ancora in buone condizioni, ma sono stati realizzati ex novo cavidotti di energia e di telecomunicazioni, banchine di fermata e nuove protezioni della sede tranviaria. Di integrale nuova costruzione, non considerando il successivo prolungamento fino a Via San Marco (presso Piazza Venezia), erano la tratta dal triangolo di Via Induno incluso fino al capolinea interno di Via di Torre Argentina e quella da Piazza San Giovanni di Dio inclusa al capolinea esterno, oltre al rifacimento di Piazza Nievo, per un totale di 2,2 km di doppio binario (contro 3,1 km di linea riqualificata).

Al fine di una realizzazione più rapida e precisa nonché a quello di contenere la trasmissione di vibrazioni, nelle tratte di nuova costruzione lato centro, escluso ponte Garibaldi, si è ricorsi per l'armamento ad una soluzione allora innovativa, basata su platee prefabbricate in calcestruzzo poggiate su un materassino elastico (che le avvolge anche sui lati), con le rotaie montate sulle platee mediante attacchi bielastici. La pavimentazione è stata realizzata con lastre di calcestruzzo prefabbricate connesse elasticamente alle platee e dotate superiormente di una cornice in lamiera atta a contenere il conglomerato bituminoso (in viale Trastevere) o elementi lapidei simulanti i classici sampietrini (in Via Arenula).

Nella tratta di nuova costruzione lato Casaletto si è usato un armamento su ballast di elevata



*Figura 8 - Realizzazione dell'armamento di Ponte Garibaldi, con rotaie da ponte e traverse di altezza ridotta, settembre 1996.*



*Figura 7 - Pavimentazione in falsi sampietrini della sede tranviaria di Via Arenula.*

misura, utilizzando traverse in c.a.p. ed appoggiato su soletta in calcestruzzo. Ponte Garibaldi, per la necessità di non alzare la quota della pavimentazione, ha richiesto rotaie di altezza ridotta e traverse di legno anch'esse basse, appoggiate direttamente, senza ballast; tale tipo di soluzione è stata mantenuta nel recente intervento di rinnovo dell'armamento<sup>11</sup>.

Il capolinea esterno è a racchetta, su un preesistente piazzale in rilevato, al centro della strada che in quel punto inizia a scendere, ed è dotato di un fascio di tre binari, di cui due con banchina, per consentire sorpassi e soste inoperose.

Lungo la linea sono state installate, in una fase successiva, quattro comunicazioni semplici, atte a consentire servizi limitati in caso di interruzioni nonché un più agevole recupero di veicoli in avaria.

In relazione all'entrata in servizio di nuovi rotabili a pavimento basso, per le banchine di fermata fu adottato un nuovo standard, con lunghezza di 45 m ed altezza di 30 cm sul piano del ferro, in modo da consentire l'accesso di invalidi in carrozzella senza bisogno di pedane retrattili o ribaltabili (ma anche da rendere più spedita l'entrata ed uscita di tutti i passeggeri); l'accesso alle banchine avviene ad un'estremità o, quando è possibile, ad ambedue, mediante una rampa con pendenza non superiore al 6%. La distanza tra le fermate è stata opportunamente aumentata, rispetto ai valori usuali; tra i due capolinea di Casaleto e Via San Marco, ve ne sono 14, con un'interdistanza media di 370 m.

Al fine di consentire le volute prestazioni di regolarità e velocità, anche nel caso della tranvia Casaleto-Centro fu adottata in origine l'esclusività della sede (non ammettendovi neanche gli autobus, se non in servizio sostitutivo od integrativo, con specifiche limitazioni di circolazione), poi compromessa dall'ammissione dei taxi e dalla tolleranza di frequenti intrusioni. Tutte le intersezioni ed anche tutti gli attraversamenti soltanto pedonali furono dotati di impianti semaforici, con priorità tranviaria basata su un evoluto software di previsione, che offre al tram un'elevata probabilità di via libera, senza penalizzare gravemente le correnti veicolari in conflitto. Oggi i benefici appaiono però ridotti dalla forte saturazione di alcune intersezioni (che richiederebbero interventi infrastrutturali o cambiamenti delle discipline di traffico) e dal degrado del sistema.

Dal punto di vista dell'inserimento urbano, la linea richiede approcci diversi. Nella tratta su Circonvallazione Gianicolense, tipico ampio viale periferico (con pendenze fino al 5%), i binari sono sulla fascia centrale della strada, riservata al tram e separata da quelle laterali da stacciate e siepi, che hanno anche la funzione di dissuadere i pedoni da attraversamenti pericolosi.

Nella tratta esterna di nuova costruzione la sede tranviaria non è stata pavimentata, bensì coperta con un manto erboso, per i noti vantaggi di carattere ambientale e per evidenziare la non transitabilità da parte di altri veicoli. Nella tratta intermedia, su viale di Trastevere, i binari sono ancora al centro della strada ma, in considerazione della precedente esperienza del Flaminio e in accordo con gli organi ministeriali, anche in relazione ad una sopravvenuta modifica delle condizioni poste dalla legge 211/92, si decise di proteggerli senza i previsti parapetonali bassi, ma soltanto con un cordolo largo 50 cm e alto 15 cm. Infine, nella tratta in centro storico ambedue i binari sono collocati su un lato della strada, lungo il marciapiede, in modo da lasciare sull'altro lato una larghezza sufficiente alla circolazione a senso unico, con possibilità di superare un veicolo fermo. In Via Arenula, dove il marciapiede non è stretto (variabile, attorno a 3 metri) ma molto frequentato, non si ritenne opportuno rinunciare ad una barriera (in ferro, decorosa e molto trasparente) tra tranvia e marciapiede, in considerazione del rischio che i pedoni invadano, anche inavvertitamente, la sede tranviaria. Vi furono vivaci opposizioni, presto però sopites.

#### 1.4.3 L'esecuzione dei lavori

I lavori iniziarono nell'agosto del 1996 e furono svolti in 19 mesi, eccettuato qualche completamento di opere accessorie, non vincolanti per l'esercizio.

A lavori iniziati si determinarono condizioni tecniche, connesse all'ordine dei nuovi tram, che richiesero adeguamenti progettuali, quali l'adattamento delle banchine di fermata al già menzionato incarozzamento a raso ed il potenziamento di cavidotti e linee di alimentazione.

Durante l'esecuzione non mancarono difficoltà impreviste, dovute ad interferenze con altri lavori che impegnavano il tracciato, al ritrovamento di sottoservizi in posizioni impreviste, a problemi dell'infrastruttura stradale, alla ritardata rimozione di impedimenti gestiti da terzi, all'impossibilità di reperire in Italia nei tempi dovuti il quantitativo di elementi lapidei necessario per la pavimentazione (risolta con un approvvigionamento in Cina!); ma anche alle spesso immotivate manifestazioni di contrarietà di comitati di cittadini e di commercianti, in alcuni casi sostenute dagli organi circoscrizionali, che hanno richiesto lunghi confronti e l'adozione di qualche modifica progettuale. Tema principale delle rimostranze è stata la permeabilità trasversale delle strade percorse dalla tranvia. Il riconoscimento dell'opportunità di consentire, in determinate tratte, più agevoli passaggi dei pedoni tra i due lati delle strade, escludendo comunque che ciò potesse accadere liberamente in qualsiasi punto, portò



Figura 9 - Capolinea in Via San Marco, al bordo di Piazza Venezia, giugno 2013.

a qualche revisione delle discipline previste, introducendo nel progetto nuovi attraversamenti pedonali dotati di impianto semaforico. In qualche caso gli adeguamenti hanno riguardato anche gli attraversamenti veicolari.

Durante la costruzione della tranvia furono eseguiti alcuni limitati interventi di riqualificazione urbana in aree laterali, quali l'ampliamento di marciapiedi, in Largo Arenula e in Piazza Cairoli, e una nuova sistemazione di Piazza San Giovanni di Dio, resa possibile dall'eliminazione dell'anello tranviario. Un appalto successivo, incluso nel programma di opere per il Giubileo del 2000, dette luogo a più consistenti interventi di riqualificazione urbana, con importanti pedonalizzazioni, in aree prossime alla tratta centrale della tranvia; tra essi il riassetto ed il rifacimento delle pavimentazioni di Largo di Torre Argentina, Via S. Nicola de' Cesarini, Piazza del Gesù, Largo S. Giovanni De Matha, nonché il completo restauro del giardino di Piazza Cairoli.

La linea, denominata "8", fu inaugurata il 21 marzo 1998, esattamente 87 anni dopo l'attivazione della prima linea dell'ATM.

#### 1.4.4 Il prolungamento a piazza Venezia

L'opposizione al transito dei tram davanti al Teatro Argentina, sia pure solo per la manovra di regresso, non si spense<sup>12</sup> e portò a decidere di tornare all'itinerario concepito in origine, fissando il capolinea in Via di San Marco (presso piazza Venezia). Ciò fu consentito da un nuovo

parere, stavolta favorevole, della Soprintendenza archeologica. Fu quindi realizzata ed attivata nel 2013 una nuova tratta di circa 400 m che si distacca dall'itinerario precedente in Largo Arenula e raggiunge Via di San Marco attraverso Via Florida e Via delle Botteghe oscure.

L'attuale capolinea interno è tronco, con doppia comunicazione lato linea e configurazione a tre banchine, come quella del capolinea di Via Flaminia.

#### 1.4.5 L'esercizio

L'inizio dell'esercizio della linea "8" fu caratterizzato da varie difficoltà: non essendo ancora disponibili i nuovi tram a maggiore capacità, il servizio venne iniziato con i "Socimi" e si dovette rinunciare al proposito di utilizzarli in doppia trazione. Pur con un'elevata frequenza (che non è favorevole alla regolarità) si determinò così una carenza di capacità che penalizzava l'utenza, già sconcertata dalle contemporanee limitazioni e deviazioni delle autolinee, attuate troppo presto, e si attivò un'autolinea di rinforzo<sup>13</sup>; furono inoltre causa di irregolarità le contingenti inadeguatezze dei "Socimi" all'esercizio bidirezionale, la non completata messa a punto del sistema semaforico e non gravi ma ripetuti incidenti provocati dall'indisciplina di automobilisti. Questa situazione fu però rapidamente superata e la linea, servita dai tram ad alta capacità Cityway Roma 1 e Roma 2, fu apprezzata dall'utenza e risultò avere un buon risultato

economico. Il programma di esercizio prevede oggi per motivi contingenti un intervallo minimo di circa 6 minuti; quindi, una capacità (a 4 pax/m<sup>2</sup>) di 2000 pax/h-dir., ma sono possibili e sono state offerte nel passato capacità significativamente maggiori. L'attuale velocità commerciale è certamente insoddisfacente in relazione alla natura della linea, ma le ragioni vanno ricercate nelle già menzionate condizioni di saturazione di varie intersezioni, nell'insoddisfacente funzionamento della priorità semaforica, nei comportamenti indisciplinati dei conducenti di altri veicoli e pedoni, che determinano intralci sulla sede riservata, e maggiore cautela da parte dei conducenti dei tram.

L'esperienza operativa ha mostrato la negatività del troncamento della linea in centro e della mancanza di una corrispondenza con la rete metropolitana, perché la maggior parte dei passeggeri ha necessità di proseguire verso altre destinazioni, centrali e no. Va inoltre ricordata l'inopportunità, in generale, di ubicare capolinea di moderne tranvie, necessariamente ingombranti, in zone centrali.

### 1.5 La rete attuale

Oggi la rete di impianti dell'Atac si può schematizzare geometricamente come composta dal

tracciato semianulare Casaletto – Porta Maggiore – Piazza Ungheria – Piazza Risorgimento e da tre radiali che lo toccano o intersecano: Piazza Venezia - Stazione Trastevere, Termini (Piazza dei Cinquecento) – Porta Maggiore – Centocelle/Quarticcio e Piazzale Flaminio – Piazza Mancini, per un totale<sup>14</sup> di quasi 33 km. Le linee esercitate su tale rete sono:

- 2 Piazzale Flaminio – Piazza Mancini (2,7 km);
- 3 Stazione Trastevere – Porta Maggiore – Valle Giulia (itinerario semianulare; 13,4 km);
- 5 Piazza dei Gerani – Termini (7,3 km);
- 8 Casaletto – Piazza Venezia (5,6 km);
- 14 Viale Togliatti – Termini (7,5 km);
- 19 Piazza dei Gerani – Piazza Risorgimento (14,7 km).

Va aggiunto quel che resta in esercizio della Roma-Fiuggi, cioè la linea Laziali – Giardinetti, che dal 2015, quando la metropolitana C fu attivata fino alla stazione Lodi, è in servizio, per una decisione discutibile, sulla sola tratta Laziali – Centocelle Stazione (5,4 km). Il tracciato successivo, tra Parco di Centocelle e Giardinetti si sovrappone alla metro, "C", che ha però fermate ovviamente più diradate e non offre un collegamento diretto con Termini. Di tale linea sono comunque previsti la trasformazione in metroranvia e pro-

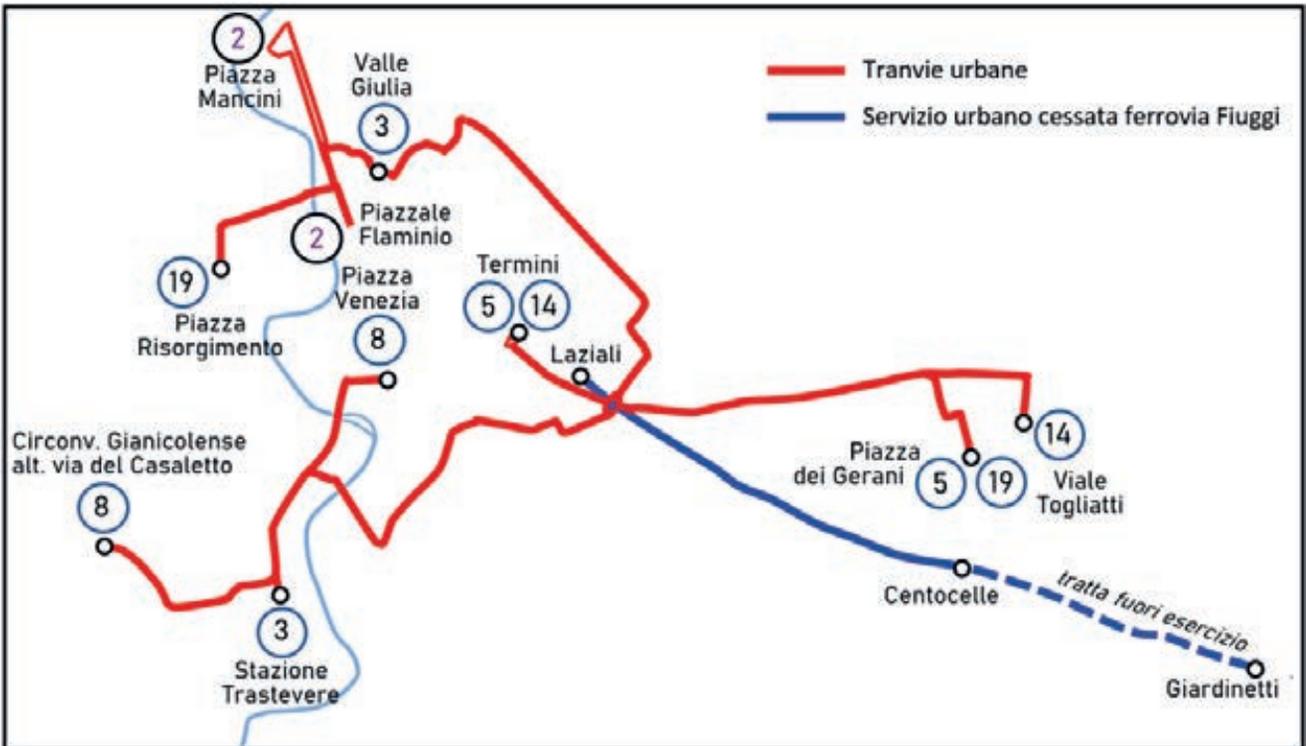


Figura 10  
Rete tranviaria romana, configurazione nel gennaio 2025 (inclusa la tratta sospesa della linea 19).



Figura 11 – Tram “Socimi” sulla linea 30 barrato, in Piazzale Labicano, giugno 1992.

lungamenti, come si riferirà nella terza parte, trattando dei piani vigenti, delle linee in fase realizzativa e di quelle ulteriormente previste.

## 1.6 Il materiale rotabile

### 1.6.1 I primi tram a pianale parzialmente basso

Un minimo incremento del parco si ebbe nel 1981, con due tram PCC dismessi dall'ATM di Milano e ricostruiti nelle officine ATAC. Alla fine degli anni '80, per ringiovanire il parco adeguandolo a nuovi indirizzi e in previsione di sviluppi della rete, furono ordinati alla Socimi tram a pavimento parzialmente ribassato, per consentire un più agevole e rapido incarrozzamento a raso, utile soprattutto per le persone con difficoltà motorie. Furono i primi tram bidirezionali della rete urbana, dopo l'abbandono di quelli a due assi. Lunghi 21,3 m, a un osservatore molto super-

ficiale le due casse con carrozino interposto potrebbero richiamare i vecchi TAM, ma l'architettura è totalmente diversa: ciascuna cassa si appoggia, all'estremità del veicolo, su un carrello motore di tipo tradizionale, pivotante, mentre al centro è sostenuta, mediante una semiralla, dal telaio di un carrozino centrale, dotato di un rodiggio portante a ruote indipendenti (in modo da evitare l'ingombro dell'assile), con interasse (virtuale) di solo 1,1 m.<sup>15</sup> È un'architettura mirata appunto ad avere buona parte del pavimento del tram (nella quale si trovano le porte), compresa l'articolazione, a una quota di ca. 35 cm sul piano del ferro; solo le estremità del veicolo, sopra ai carrelli motori, sono a quota rialzata. Questi tram utilizzano azionamenti di trazione elettronici, di produzione AEG, a chopper (pur essendosi già diffuse le realizzazioni a inverter, con motori trifase).<sup>16</sup>

L'ordine era per 65 tram, ma a causa della crisi



Figura 12 – Tram “Cityway Roma 1” sulla linea 8, in Viale Trastevere, gennaio 1999.

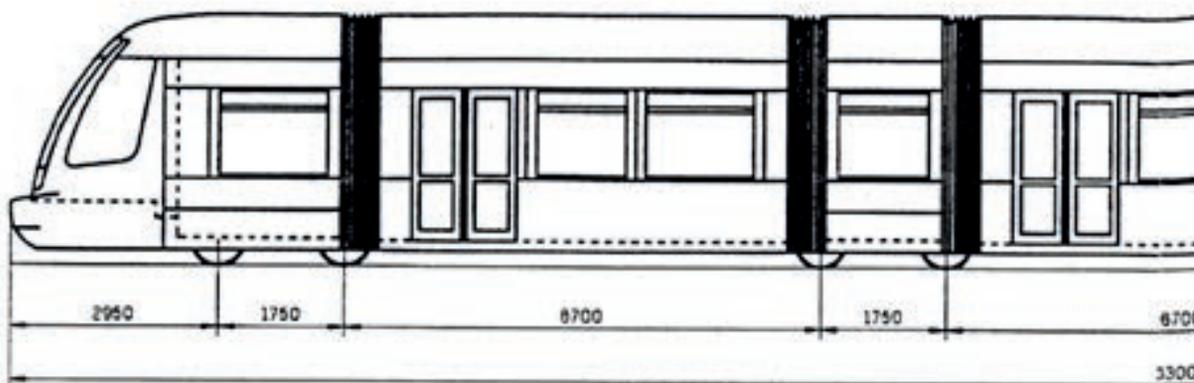


Figura 13 – Figurino del Tram “Cityway Roma 2” (Fiat Ferroviaria).



Figura 14 – Tram “Cityway Roma 1” sulla linea 19, in Piazza Risorgimento, marzo 2004.

della Socimi ne furono consegnati soltanto 33, a partire dal 1990 (in ritardo per la prevista utilizzazione sulla nuova linea del Flaminio); qualche anno dopo ne sono arrivati altri 8, a seguito dell'acquisizione dello stabilimento Socimi da parte di ATM Milano.

I tram Socimi, immatricolati nella serie 9000, hanno posto vari problemi, tra cui la tendenza allo svio del falso carrello centrale. Pur essendo di poco più lunghi degli “Stanga”, la capacità è inferiore, a causa della doppia cabina e della minore larghezza (2,30 m). E l'interno, a parte il vantaggio del pavimento basso per il

63%, non appare accogliente e gradevole.

### 1.6.2 Tram a pavimento parzialmente basso più lunghi

Nel 1998, con un po' di ritardo rispetto al proposito di utilizzarli fin dal principio sulla linea 8, è iniziata la consegna dei tram Fiat Ferroviaria Cityway Roma 1 (serie ATAC 9100), la cui impostazione si può ricondurre a uno sviluppo del veicolo serie 5000 di Torino. Si passa infatti da un veicolo a 2 casse e un carrozino a un veicolo a 3 casse e 2 carrozzini: le casse estreme hanno da un lato un carrello motore di tipo tradi-

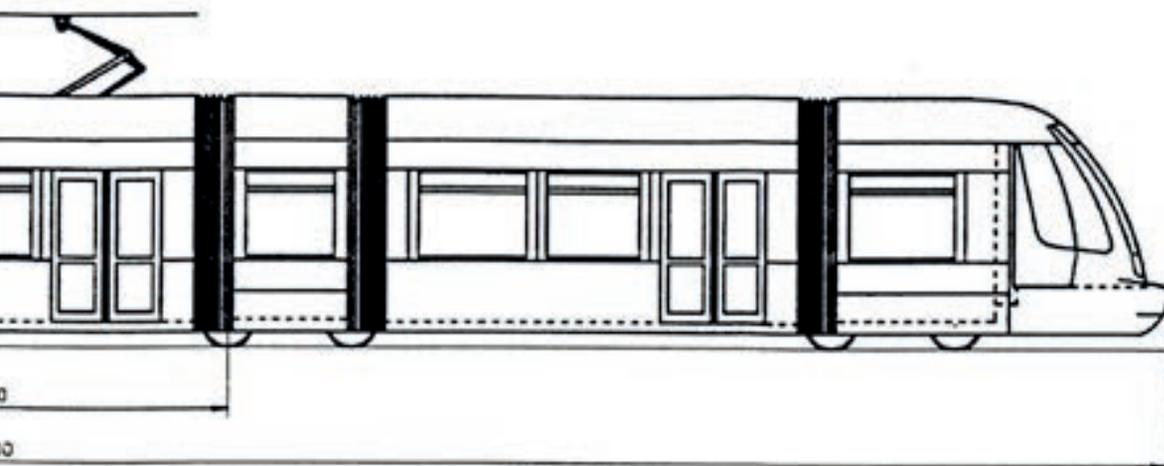


Figura 15 – Tram “Cityway Roma 2 lungo” in prova notturna a Piazza Risorgimento, settembre 2000.

zionale e si appoggiano dall’altro lato sul telaio di un carrozino; la cassa centrale, sospesa ovvero priva di rodiggio, si appoggia sui due carrozzini. La parte a pavimento basso sale così al 72%. Anche questi tram sono bidirezionali, in base al nuovo indirizzo assunto a Roma, confermato anche nelle gare successive. Ne sono stati consegnati 28, immatricolati nella serie 9100, ma uno è andato perduto per un incidente<sup>17</sup>. La trazione è affidata a 4 motori trifase asincroni (uno per asse motore), con equipaggiamento ad inverter. La potenza massima è esuberante (732 kW).

### 1.6.3 Tram a pavimento interamente basso<sup>18</sup>

Un anno dopo, nel 1999, è iniziata la consegna di 50 tram Fiat Ferroviaria Cityway Roma 2 (serie 9200). Innovativi, a pavimento interamente basso. Sono poco più lunghi dei Cityway Roma 1 (33,00 m contro 31,25) e fanno parte della categoria dei “multiarticolati”<sup>19</sup>: si compongono di sette moduli, quattro dei quali poggiano su carrelli non pivotanti privi di assili (le casse di estremità, lunghe 4,7 m, montate a sbalzo, e due carrozzini intermedi lunghi 1,75 m) mentre gli altri tre sono costituiti da casse sospese (lunghe 6,7 m).

I carrelli motori sono quelli intermedi, ciascuno dei quali aziona le due ruote di uno stesso lato. I carrelli sono privi della sospensione primaria, ma hanno il telaio articolato, al fine di assicurare la corretta ripartizione dei carichi sulle quattro ruote, anche in presenza di problematici sghebbi di binario. Un aspetto vantaggioso è la comunanza di motori e convertitori con i Cityway Roma 1; la potenza massima è quindi la stessa.

I Cityway Roma 2, immatricolati nella serie 9200, hanno presentato vari problemi, che dettero luogo ad un contenzioso con la ditta costruttrice, nel frattempo (2000) acquisita da Alstom.

I tram multiarticolati, con carrelli tutti non pivotanti<sup>20</sup>, sono comunque spesso ritenuti causa di

un insoddisfacente rapporto ruota/rotaia, che può tra l'altro acuire l'usura dell'una e dell'altra, in particolare nel caso di linee con curve di raggio ridotto.

Tra i 50 tram ce n'erano due lunghi 41,45 m, composti da 9 moduli, cioè con un carrozino e una cassa sospesa in più, ordinati a fine sperimentazione<sup>21</sup>. Si riteneva che potessero essere utili su linee con domanda molto forte ed itinerari adatti a tale dimensione, come la linea 8, già dotata di banchine di lunghezza sufficiente. Ma fu deciso, forse troppo presto, che non erano adatti alla rete romana e furono ridotti alla lunghezza degli altri.



## Note

1. Tra Piazza dei Carracci e Viale Pinturicchio il binario non apparteneva all'itinerario di linea ma costituiva la chiusura di un anello, utilizzata per un certo tempo come parcheggio dei tram da far affluire al capolinea di piazza Mancini alla fine delle partite di calcio;
2. La denominazione "225" aveva origine in un opinabile criterio di codificazione delle linee (peraltro mai completamente attuato) e fu sostituita da "2" per effetto di una direttiva dell'Amministrazione comunale che, nell'ambito della "cura del ferro", ha voluto che, riservando i numeri bassi alle linee tranviarie, si evidenziasse il loro diverso ruolo rispetto a quello delle autolinee;
3. È elemento di riqualificazione l'impattante mercato che si tiene sul piazzale della stazione della Roma Nord;
4. Va notato che questo capolinea è dotato sia di una banchina centrale, tra i due binari, sia di due banchine laterali. Tale configurazione costituisce una soluzione vantaggiosa quando la comunicazione tra i binari è situata prima del capolinea, con la possibilità che il tram in arrivo sia istradato su ciascuno dei due binari. Infatti, consente di separare i flussi di sbarco dei passeggeri da quelli di imbarco e di non costringere i passeggeri in procinto di imbarcarsi a cambiare banchina quando il tram arriva su quella non usuale (problematiche che non esistono quando la comunicazione è posta dopo il capolinea);
5. Rimane però qualche sofferenza sull'asse Gianturco-Vico, percorso anche da linee autobus;
6. Il termine Unilinea indicava, in una proposta di sistematizzazione delle reti di trasporto pubblico locale, un'unica linea, forte, posta al servizio di una direttrice importante; lo sfocciamento verso le diverse zone gravitanti sulla direttrice era assicurato da linee locali. Esistono diverse scuole di pensiero riguardo alla configurazione delle moderne reti tranviarie. Si contrappongono soluzioni basate su linee tutte indipendenti (come per le metropolitane), che aumentano i casi di rottura di carico ma possono offrire migliori prestazioni, e su reti magliate, con sovrapposizioni di linee diverse su tratte comuni, che aumentano l'offerta di collegamenti diretti. Naturalmente possono esserci soluzioni miste;
7. Erano propositi saggi. Una delle linee previste è stata realizzata pochi anni dopo e due sono tornate all'attenzione in piani recenti;
8. Per questa linea erano stati precedentemente proposti l'abbandono della tratta viale Rossini – via Aldrovandi – viale Belle Arti, poco frequentata e problematica, e l'istradamento su viale Parioli;
9. Per tale linea si ipotizzava anche l'eventuale ricorso ad altro tipo di sistema a capacità intermedia;
10. Col senno di poi, quella decisione appare improvvida, perché il capolinea nel Largo di Torre Argentina avrebbe eliminato la sosta e la manovra dei tram davanti al teatro e avrebbe costituito un buon innesco per il prolungamento a Termini. Nel 2000 fu indetta la gara per il prolungamento fino a Via Cesare Battisti, senza seguito perché fu presentata una sola offerta valida;
11. Per l'imminente rinnovo dell'armamento sul ponte è previsto il ricorso a una particolare soluzione simile a quella già adottata a Firenze per il ponte sull'Arno, consistente nell'immersione della rotaia, posizionata all'interno di una canaletta, in un prodotto elastomerico che solidificando aderisce efficacemente sia alla rotaia sia alla canaletta;
12. Va osservato che la questione dell'impatto fu ingigantita, dimenticando che, prima dell'intervento tranviario, al bordo del piccolo marciapiede antistante il teatro correva un continuo fiume di autoveicoli;
13. La linea "H", tuttora esercitata, con un itinerario più esteso della linea "8" ad ambedue i lati, ovvero tra Via di Bravetta e Termini;
14. Riferito al b.d., considerando al 50% lo sviluppo delle racchette e degli anelli e non conteggiando impianti di deposito, raccordi, raddoppi ecc.;
15. L'origine di questo tipo di soluzione fu un'iniziativa di Unifer, tesa a definire un tram a pavimento parzialmente ribassato, concretizzatasi nella realizzazione, finanziata dal CNR, di due prototipi: il primo (1984) ottenuto unendo due tram di ATM Milano privati di un carrello con l'interposizione del carrozino a ruote indipendenti, l'altro (1985) sostituendo col carrozino l'articolazione con carrello Jakobs e giostra Urbinati di un tram articolato di ATM Torino precedentemente costruito usando due tram preesistenti. Quest'ultimo ha poi dato luogo alla serie 5000 di ATM Torino (Fiat Ferroviaria, 1989). Analogo sviluppo si ebbe in Francia col Tramway Français Standard 2 (del quale il primo fu operativo nel 1986 a Grenoble);
16. Una tabella riassuntiva delle principali caratteristiche dei tram romani è riportata nella prima parte (Quaderno io roma n. 3/2023, pag. 13);
17. Lo svio per eccesso di velocità, il 2 marzo 2001 all'imbocco della curva del capolinea di Casaletto, con caduta della prima cassa sulla strada sottostante (fortunatamente senza vittime);
18. I tram CAF in corso di acquisizione saranno trattati nella terza parte;
19. Il termine "multiarticolati" non ha una definizione precisa ma è generalmente usato per indicare i tram composti da un'alternanza di moduli su carrello non pivotante (ovviamente presenti ad ambedue le estremità) e di moduli sospesi. Una scuola di pensiero ritiene improprio l'uso del termine "carrello" se non è pivotante (in inglese bogie è contrapposto a truck);
20. Una minima possibilità di rotazione è data dalla cedevolezza della sospensione secondaria;
21. Tram lunghi oltre 40 m sono ormai in esercizio in molte reti europee.



# LO SVILUPPO DELLA PROPULSIONE SPAZIALE A IDROGENO



*a cura di:*  
Ing. Mario Caporale

*Revisionato da:*  
Ing. Giovanni Nicolai

*Commissioni:*  
Esplorazione dello  
Spazio (Luna e  
Marte - lanciatori)



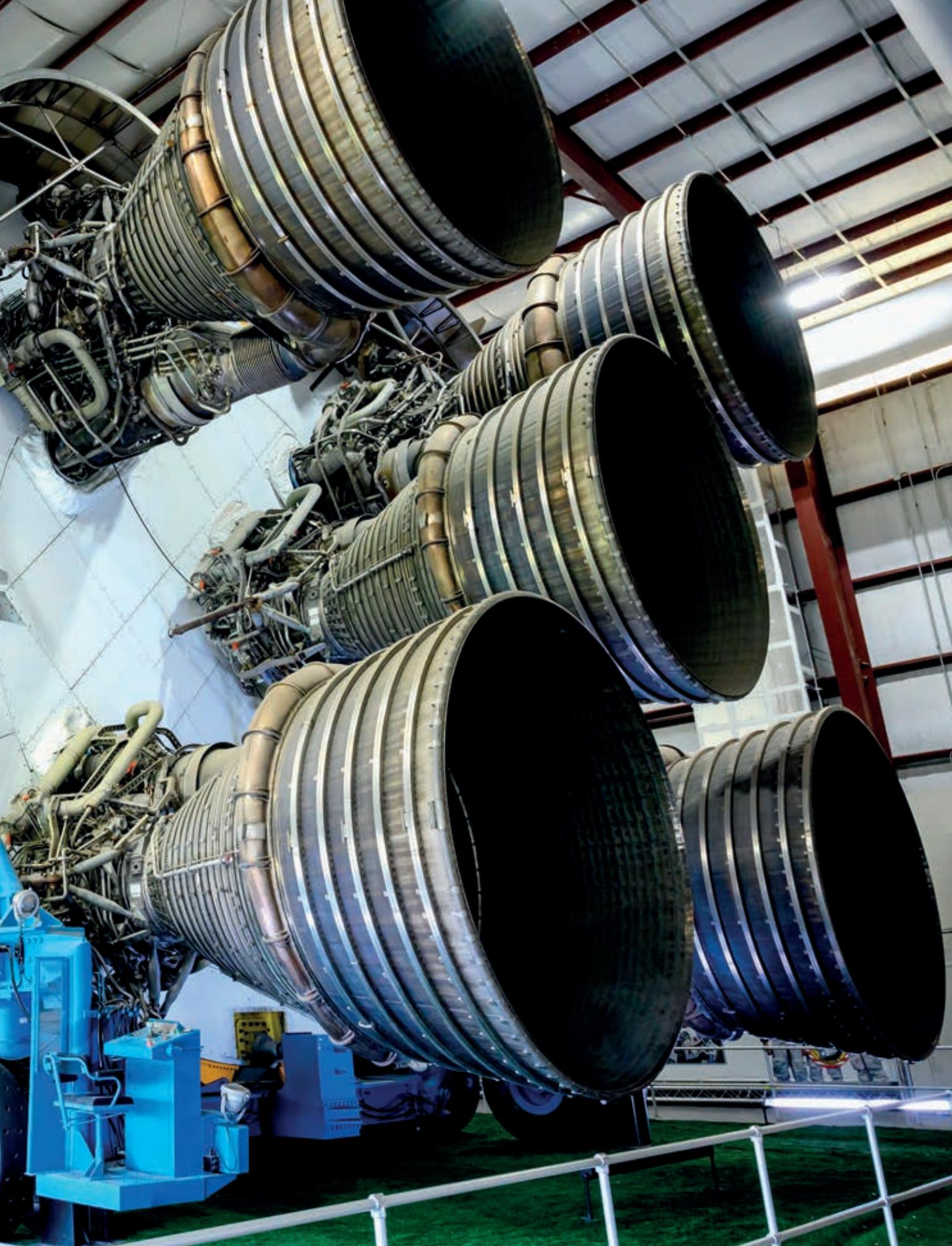




Figura 1 - Rights: Lockheed Martin Demo Vehicle artist view

***L'articolo descrive la presentazione effettuata dallo scrivente nell'ambito del Seminario "L'Energia per l'idrogeno" dell'Ordine degli ingegneri di Roma, tenutosi presso la sede dell'Ordine il 16 novembre 2023.***

L'idrogeno ( $H_2$ ) è la molecola più semplice dell'universo composta da due atomi di idrogeno, l'elemento più leggero della tavola periodica. Nelle condizioni terrestri di temperatura e pressione esiste allo stato gassoso. Per trasformarlo in liquido bisogna raffreddarlo fino a  $-253^\circ C$ , molto vicino allo zero assoluto. Per il suo utilizzo come fonte di energia, la sua caratteristica più interessante è la capacità di combinarsi con l'ossigeno e rilasciare energia.

La storia dell'idrogeno per i viaggi spaziali è iniziata un anno prima della fondazione della NASA.

Nel 1957, la US Air Force fu incaricata della ideazione di un nuovo booster spaziale alimentato da  $H_2$ . Lo scopo era quello di fornire agli Stati Uniti la capacità di mettere in orbita carichi pesanti nel più breve tempo possibile. Il secondo stadio del razzo Saturn dell'era Apollo, il razzo Centaur, che utilizzava appunto idrogeno liquido, era fondamentale per garantire che gli Stati Uniti arrivassero sulla luna per primi nella corsa allo spazio della Guerra Fredda con l'Unione Sovietica.

L'idrogeno è l'elemento più abbondante nell'u-

niverso, ma è anche il più leggero. È facilmente disponibile, pulito, leggero e, se combinato con ossigeno liquido, brucia con estrema intensità. Un solo chilogrammo di  $H_2$  è in grado di sviluppare 142 MJ di energia, contro i 56 del gas naturale, i 45-46 di benzina, diesel o kerosene, i 30-32 del carbone e i 16 della legna.

In combinazione con un ossidante come l'ossigeno liquido, l'idrogeno liquido produce il più alto impulso specifico, o efficienza in relazione alla quantità di propellente consumato, di qualsiasi propellente per razzi noto.

Quando raffreddato a  $-423$  gradi Fahrenheit ( $-253$  gradi Celsius), l'idrogeno può essere stipato in un razzo, offrendo un'enorme quantità di carburante per unità di costo.

L'uso di idrogeno liquido, combinato con ossigeno liquido, è il carburante più efficiente per un razzo, poiché fornisce tra il 35% e il 40% in più di potenza rispetto a qualsiasi altra combinazione di propellenti.

Malgrado i suoi innegabili vantaggi, il suo utilizzo rappresenta una grande sfida tecnica: per mantenerlo liquefatto è necessario mantenerlo ad una temperatura inferiore a  $-253^\circ C$  (ovvero



Figura 2

70° C in meno rispetto all'ossigeno liquido). A questa temperatura, il metallo nei serbatoi diventa fragile. Inoltre, le ridotte dimensioni della molecola di idrogeno le consentono di infiltrarsi nelle micro-fessure dei serbatoi e di facilitare le perdite.

È molto difficile da spostare e controllare a causa delle piccole dimensioni molecolari dell'idrogeno che porta a perdite e alla necessità di mantenerlo in uno stato liquido che richiede il raffreddamento a temperature estremamente basse. È altamente volatile quando è allo stato liquido e può bruciare in grandi quantità. Per evitare che evapori o bolla, i razzi alimentati con idrogeno liquido devono essere accuratamente isolati da tutte le fonti di calore, come lo scarico del motore a razzo e l'attrito dell'aria durante il volo attraverso l'atmosfera.

Una volta che il veicolo raggiunge lo spazio, l'idrogeno deve essere protetto dal calore radiante del Sole. Quando l'idrogeno liquido assorbe calore, si espande rapidamente; pertanto, lo sfianto è necessario per evitare che il serbatoio esploda. Inoltre, i metalli esposti al freddo estremo dell'idrogeno liquido diventano fragili e l'idrogeno liquido può fuoriuscire attraverso i pori delle saldature.

Poiché il volume del serbatoio del propellente aumenta a causa della bassa densità di energia per unità di volume, è necessaria un'elevata tecnologia di isolamento a causa del basso

punto di ebollizione e il costo di manutenzione può aumentare a causa della fragilità dell'idrogeno e delle perdite d'aria.

Una concentrazione del 4% di idrogeno nell'area di spurgo vicino alla disconnessione rapida è considerata un rischio di infiammabilità. Per mantenere i serbatoi di carburante di un razzo rabboccati, le linee di propellente che portano dai sistemi terrestri devono rimanere attaccate al booster fino al momento del lancio. Nell'ultimo secondo, le "disconnessioni rapide" alle estremità di queste linee si staccano dal razzo.

La difficoltà è che, per essere sicuri nel disconnettersi dal razzo, questa apparecchiatura non può essere imbullonata abbastanza strettamente da precludere completamente il passaggio di atomi di idrogeno: è estremamente difficile sigillare queste connessioni ad alta pressione e basse temperature.

Nonostante queste difficoltà tecniche, lo sviluppo e l'applicazione dei motori a idrogeno in ambito spaziale continua, perché l'elevato impulso specifico dell'idrogeno ha un vantaggio significativo.

Nel Luglio 1959, La NASA si assunse la responsabilità del progetto Centaur, che fino ad allora era stato di competenza dell'Air Force degli Stati Uniti. L'H<sub>2</sub> è stato utilizzato nella missione Apollo 11, che ha portato i primi astronauti sulla Luna. La NASA ha utilizzato l'idrogeno liquido



Figura 3

come carburante per la propulsione dei razzi e ha utilizzato sistemi di celle a combustibile sia per l'elettricità che per l'acqua per tutta la durata della missione.

L'idrogeno è stato utilizzato per alimentare i massicci razzi Saturn V. Il secondo e il terzo stadio utilizzavano idrogeno e ossigeno nei motori J-2 per spingere la sonda in orbita e quindi inviarla verso la Luna.

L'idrogeno è comunemente usato per i secondi stadi (il razzo europeo Ariane 5 è un buon esempio) e come combustibile liquido necessario per manovrare i veicoli spaziali in orbita.

Già nel maggio del 1903 lo scienziato russo Konstantin Tsiolkovsky propose di utilizzare un propulsore ad ossigeno e idrogeno liquidi per l'esplorazione spaziale. Nel Maggio 1903 scrisse l'opera "Exploration of Universe with rocket propelled vehicles".

L'espressione classica dell'equazione del razzo, l'equazione cosiddetta di Tsiolkovsky, è:

$$\Delta v = (v_e) \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right) \quad 1)$$

dove:

- Delta v: è l'incremento di velocità acquisito dal razzo in seguito all'accensione del propulsore;
- $v_e$ : è la velocità equivalente di uscita dal propulsore, relativa al veicolo;
- $m_i$ : è la massa totale iniziale;
- $m_f$ : è la massa totale finale.

Essendo la velocità di efflusso equivalente relativa al veicolo uguale al prodotto dell'impulso specifico ponderale  $I_{sp}$ , per l'accelerazione gravitazionale media al livello del mare,  $g_0$ , si ha:

$$\Delta v = I_{sp} g_0 \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right) \quad 2)$$

L'impulso specifico rappresenta una caratteristica importante dei razzi. Dipende strettamente dal propellente utilizzato dal motore. Di seguito vengono forniti, per confronto, gli impulsi specifici di vari propellenti:

- Chimici:
  - Propellenti liquidi  $I_{sp} = 300-460$  s (monopropellenti liquidi 250 s, propellenti stivabili 400 s, criogenici 500 s);
  - Propellenti solidi  $I_{sp} = 180-260$  s;
  - Propellenti ibridi  $I_{sp} = 300-350$  s;
  - \*LOX-LH2  $I_{sp} = 450$  s.
- Elettrici:
  - Arcogetti  $I_{sp} = 1000$  s;
  - Resistoggetti  $I_{sp} = 300-400$  s;
  - Propulsori ionici  $I_{sp} = 3000-5000$  s (teoricamente fino a 100000 s);
  - Motori al plasma  $I_{sp} = 10000$  s.
- Nucleare:
  - Fusione  $I_{sp} = 3000$  s;
  - Fissione  $I_{sp} = 1000$  s.

La parte più dispendiosa in termini di risorse del viaggio spaziale è nelle prime fasi della missione: far decollare un veicolo spaziale da terra. Un oggetto deve viaggiare più velocemente della velocità di fuga della Terra, circa 11,2 chilometri al secondo, per sfuggire alla forza di gravità. Raggiungere la velocità di fuga richiede molta spinta e, di conseguenza, la maggior parte del peso di un veicolo spaziale è il suo carburante. Il razzo Saturn V, per esempio, pesava poco meno di tre milioni di chilogrammi prima del lancio. Più del 90% di questo peso era costituito solo da carburante, lasciando un carico utile di soli 43.000 chilogrammi per raggiungere l'orbita lunare.

Gli endoreattori a propellenti solidi sono da utilizzare come booster: spinta elevata, brevi tempi di funzionamento, semplicità costruttiva. L'idrogeno, normalmente, viene utilizzato come secondo stadio di propulsione.

Di seguito sono elencati alcuni lanciatori spaziali che hanno utilizzato o utilizzano idrogeno come propellente:

- Ariane 5 (EUROPA);
- Delta IV Heavy (USA);
- Space Launch System (ancora in fase di sviluppo);
- Saturn V (ritirato);
- Atlas V (USA);
- Falcon 9 (USA);
- Falcon Heavy (USA);
- Long March 5 (Cina);
- H-IIA (Giappone).

Il razzo europeo Ariane 5, con il suo stadio centrale alimentato a idrogeno liquido e i due



Figura 4 - Ariane 6 (Copyright ESA).

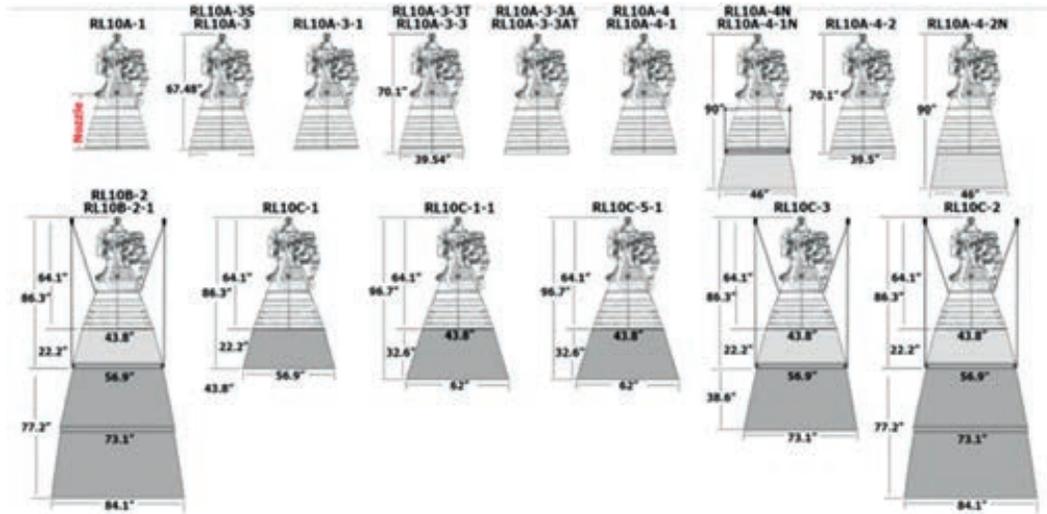


Figura 5 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.

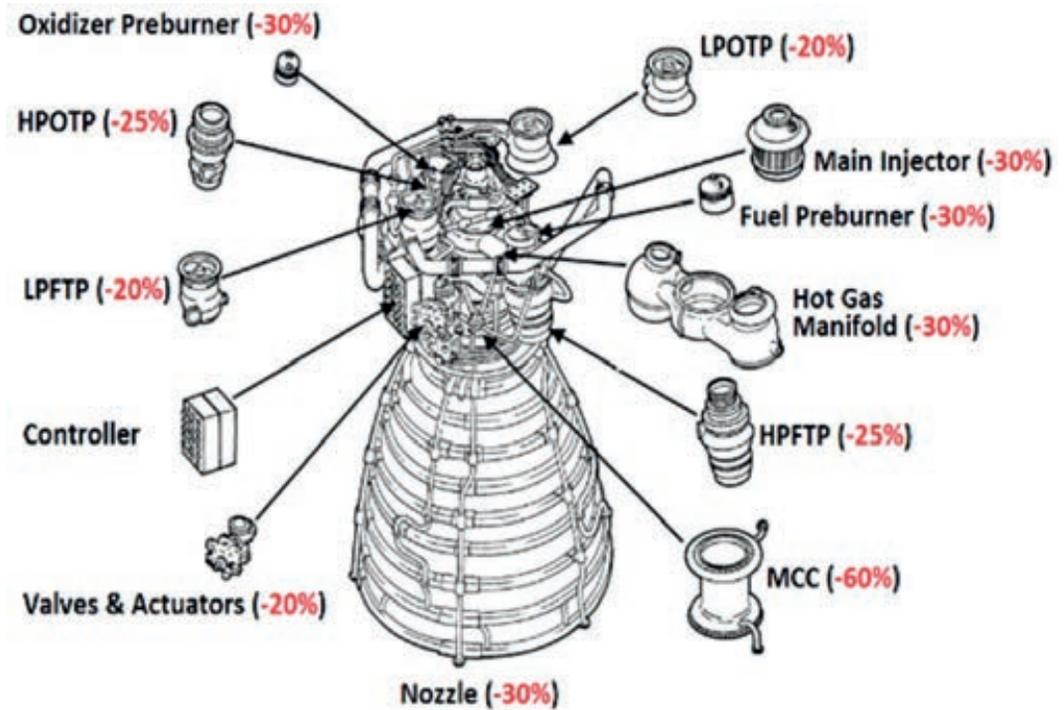


Figura 6 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.

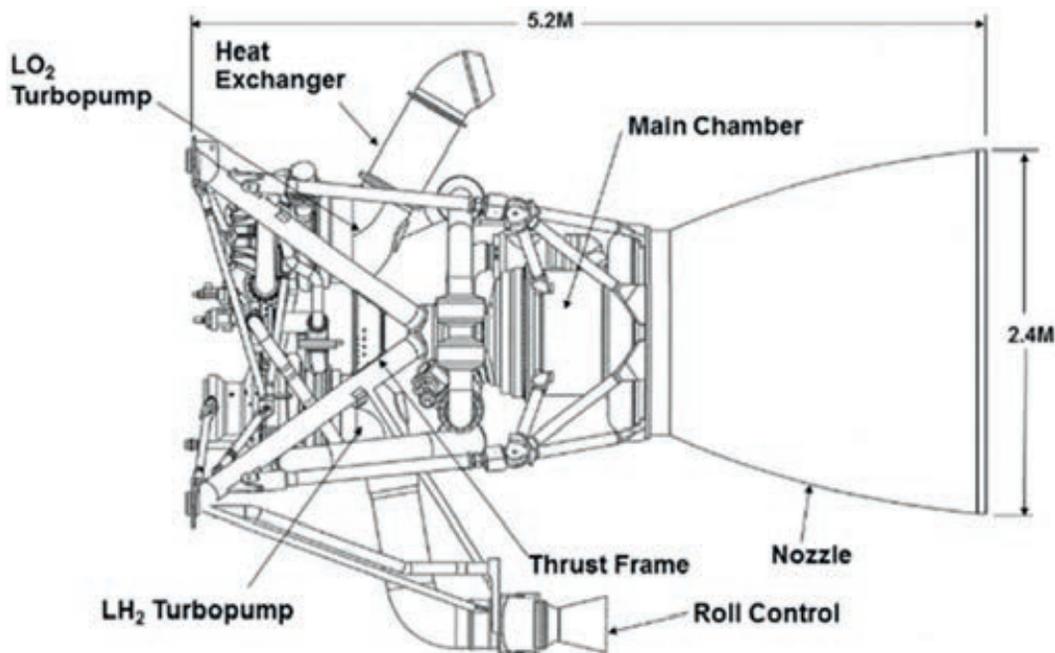


Figura 7 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.

propulsori a razzo solido, ha garantito l'accesso dell'Europa allo spazio, fornendo una capacità unica di lancio di satelliti e veicoli spaziali in orbite precise per quasi tre decenni.

Lo stadio superiore dell'Ariane 6, che è un programma gestito e finanziato dall'ESA, incorpora alcune delle principali innovazioni del lanciatore. Lo stadio comprende due serbatoi principali per i propellenti criogenici (idrogeno e ossigeno liquidi), che alimentano il motore Vinci, che può essere riacceso fino a quattro volte, e l'innovativa unità di propulsione ausiliaria APU.

Il primo settembre 2023, i team di ArianeGroup, dell'agenzia spaziale tedesca DLR e dell'ESA hanno effettuato con successo una nuova prova a fuoco sul banco di prova dedicato allo stadio superiore del nuovo lanciatore Ariane 6 a Lam-poldshausen (Germania).

L'Agenzia Spaziale Europea ESA, l'Agenzia spaziale francese CNES e un gruppo di partner industriali e accademici hanno avviato un piano ambizioso per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> associate ai lanci orbitali, creando infrastrutture per sostenere un'economia dell'idrogeno a sostegno dello spazioporto europeo nella Guyana francese.

La chiave del progetto è sostituire l'idrogeno "grigio" – prodotto da un processo industriale ampiamente utilizzato ma ad alta intensità di CO<sub>2</sub> noto come steam reforming del metanolo – con idrogeno "verde" prodotto mediante elettrolisi dell'acqua da energia rinnovabile. L'idrogeno verde, utilizzato per alimentare i razzi, ridurrà

le emissioni di CO<sub>2</sub> legate al programma Ariane di diverse migliaia di tonnellate all'anno.

Di seguito sono riportati vari motori a idrogeno sviluppati dal 1950 in poi.

Motore RL10 (vedi Figura 5) sviluppato da Pratt & Whitney (USA) nel 1950: Il motore RL10 è stato sviluppato da Pratt & Whitney nel 1950 e lanciato nel 1962 come il primo motore a razzo alimentato a idrogeno al mondo. Utilizzato su ATLAS Centaur.

Space Shuttle SSME (motore RS-25): questo motore ha impulso specifico di 452 s e 232,5 tonnellate (tonnellata-forza) nel vuoto (vedi Figura 6). Più di 1.500 parti sono state prodotte con Inconel 718 per prevenire l'infragilimento da idrogeno. La NASA prevede di riutilizzarlo come motore di primo stadio per l'SLS attraverso il programma Artemis. Diversi miglioramenti sono attualmente in corso.

Motore RS-68 (vedi Figura 7) sviluppato da Rocketdyne nel 2001: questo motore ha prodotto un impulso specifico di 410 s e 338 tonnellate nel vuoto. Il motore ha ridotto il numero di parti dell'80% rispetto all'RS-25 e ha migliorato la malleabilità e la duttilità introducendo la pressione isostatica calda (HIP) nella camera di combustione, abbreviando il ciclo di vita da 24 a 12 mesi.

Motore BE-3 (vedi Figura 8) sviluppato nel 2015 da Blue Origin: la spinta del vuoto è di circa 72,3 tonnellate; Il motore riutilizzabile è stato sviluppato con una limitazione 5: 1 per un atterraggio sicuro durante il decollo e l'atterraggio verticale.

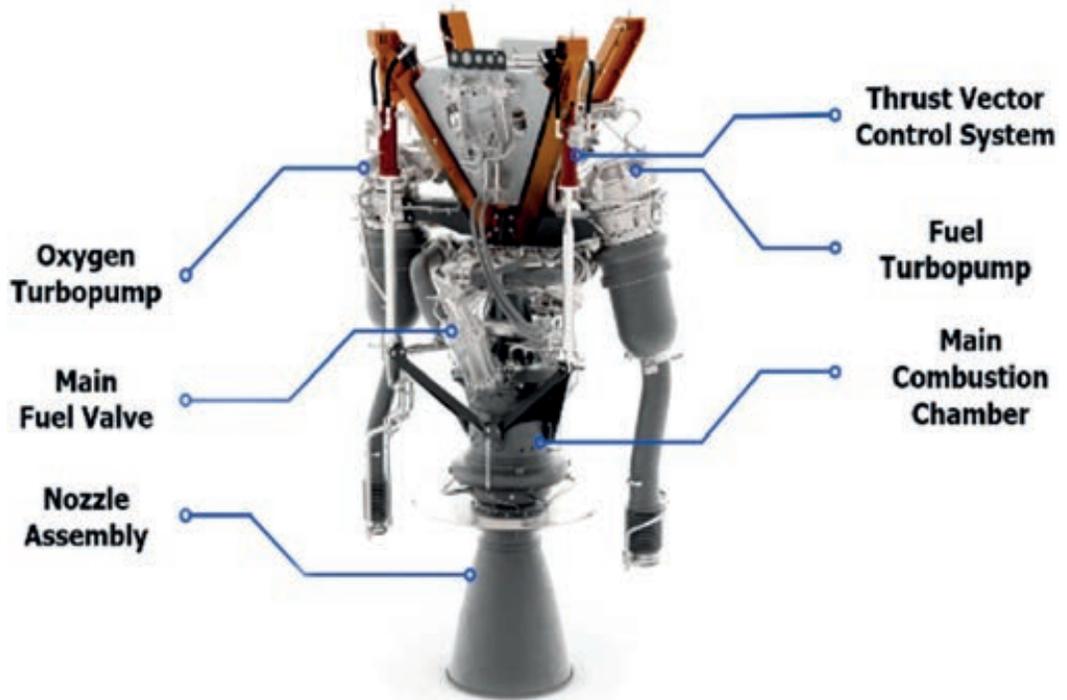


Figura 8 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.

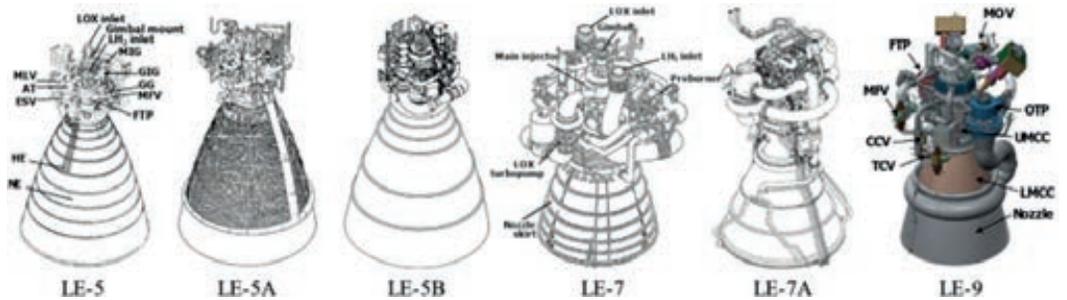


Figura 9 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.



Figura 10 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.

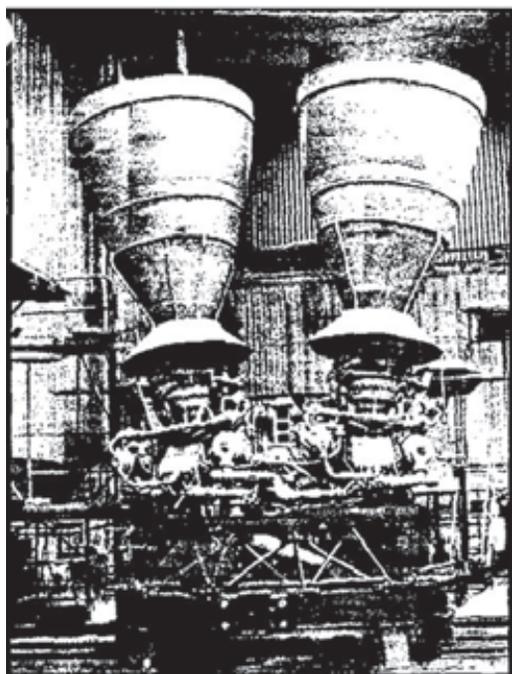


Figura 11 - Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>.



Figura 12 - Serbatoio di Idrogeno liquido del SLS. Fonte: [www.eoportal.org](http://www.eoportal.org).

Motori a razzo LE alimentati a idrogeno del Giappone (vedi Figura 9): utilizzati sul veicolo di lancio H-I e successive evoluzioni. L'impulso specifico della serie LE-5 è di circa 450 s e il rapporto spinta-peso è di circa 50. Successivamente sono state sviluppate evoluzioni denominate LE-7 e LE-9 per risolvere i problemi di infragilimento e aumentare il rapporto spinta-peso. Motori della serie YF sviluppati dalla Cina (vedi Figura 10): l'YF-73 è il primo motore cinese alimentato a idrogeno liquido, progettato dal Beijing Aerospace Propulsion Institute (BAPI) nel 1975 e sviluppato dalla China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT) nel 1984.

La serie è utilizzata sui lanciatori Long March. RD-0120 primo motore alimentato a idrogeno dell'Unione Sovietica lanciato nel 1987.

Motore russo RD-701 (vedi Figura 11): il motore RD-701 è stato progettato per essere riutilizzato attraverso il progetto dello spaziosplano multipurpose aerospace system (MAKS); tuttavia, il suo sviluppo è stato interrotto a causa della cancellazione del progetto.

L'SLS (Space Launching System) è il nuovo sistema di lancio pesante per la NASA. SLS nel settembre 2022 ha sperimentato problemi di perdita di idrogeno nel sistema di alimentazione del primo stadio. Questa perdita si trova nel Tail Service Mast Umbilical (TSMU), un sistema di alimentazione posto alla base del razzo. Il progetto derivato dallo Shuttle sfrutta le risorse

stabilite per lo Space Shuttle, tra cui la forza lavoro, gli utensili, i processi di produzione, la catena di approvvigionamento, la logistica dei trasporti, l'infrastruttura di lancio e l'infrastruttura del propellente LOX / LH2.

Recenti ricerche hanno dimostrato che la polvere lunare può essere utilizzata per creare ossigeno, idrogeno e persino combustibili per razzi che potrebbero aiutare ad alimentare l'esplorazione umana su Marte e oltre. Ci sono vari studi al riguardo. La polvere lunare è la parte più fine dei detriti rocciosi che ricoprono la superficie della Luna, che è collettivamente conosciuta come regolite lunare. Mentre la regolite può essere profonda fino a 10 metri in alcuni punti, i pochi millimetri superiori sono esposti a radiazioni e impatti di micrometeoriti che la rompono in una polvere fine.

A differenza della polvere sulla Terra, che è costituita da una miscela di suolo, organismi morti e altre particelle microscopiche, la polvere lunare è costituita da una varietà di minerali in polvere e vetro.

L'idrogeno è essenziale anche in futuri razzi termici nucleari. In un razzo termico nucleare un fluido di lavoro, di solito idrogeno liquido, viene riscaldato ad alta temperatura in un reattore nucleare e fatto espandere attraverso un ugello per generare la spinta.

L'energia del reattore prodotta dalla fissione nucleare sostituisce quella generata dalle reazioni

chimiche di un razzo a propulsione chimica. L'alta densità energetica del combustibile nucleare rispetto a quelli chimici permette una efficienza del propellente (misurata dalla velocità equivalente di efflusso) almeno doppia rispetto a quella dei propellenti chimici. A parità di spinta, la massa di un razzo nucleare è circa la metà di un razzo convenzionale. Qualora venisse usato come stadio successivo al primo, permetterebbe di mandare in orbita un carico doppio o triplo rispetto agli stadi che sfruttano propellenti chimici. DARPA e NASA hanno assegnato congiuntamente a Lockheed Martin un accordo da 499 milioni di dollari per progettare e costruire un razzo sperimentale utilizzando un motore a pro-

pulsione termica nucleare nell'ambito del programma Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations (DRACO), finalizzato alle future operazioni nello spazio profondo.

Per portare il motore di prova nello spazio DARPA ha dichiarato che la Space Force fornirà il veicolo di lancio, molto probabilmente un Falcon 9 o Falcon Heavy di SpaceX, nell'ambito del programma di lancio spaziale della sicurezza nazionale. DARPA ha assegnato contratti a General Atomics, Blue Origin e Lockheed Martin nell'aprile 2021 per la Fase 1 del programma DRACO e nel maggio 2022 ha pubblicato una sollecitazione per le Fasi 2 e 3 per sviluppare e testare il motore ed eseguire una dimostrazione di volo. Nel luglio 2021 la NASA ha stipulato un contrat-

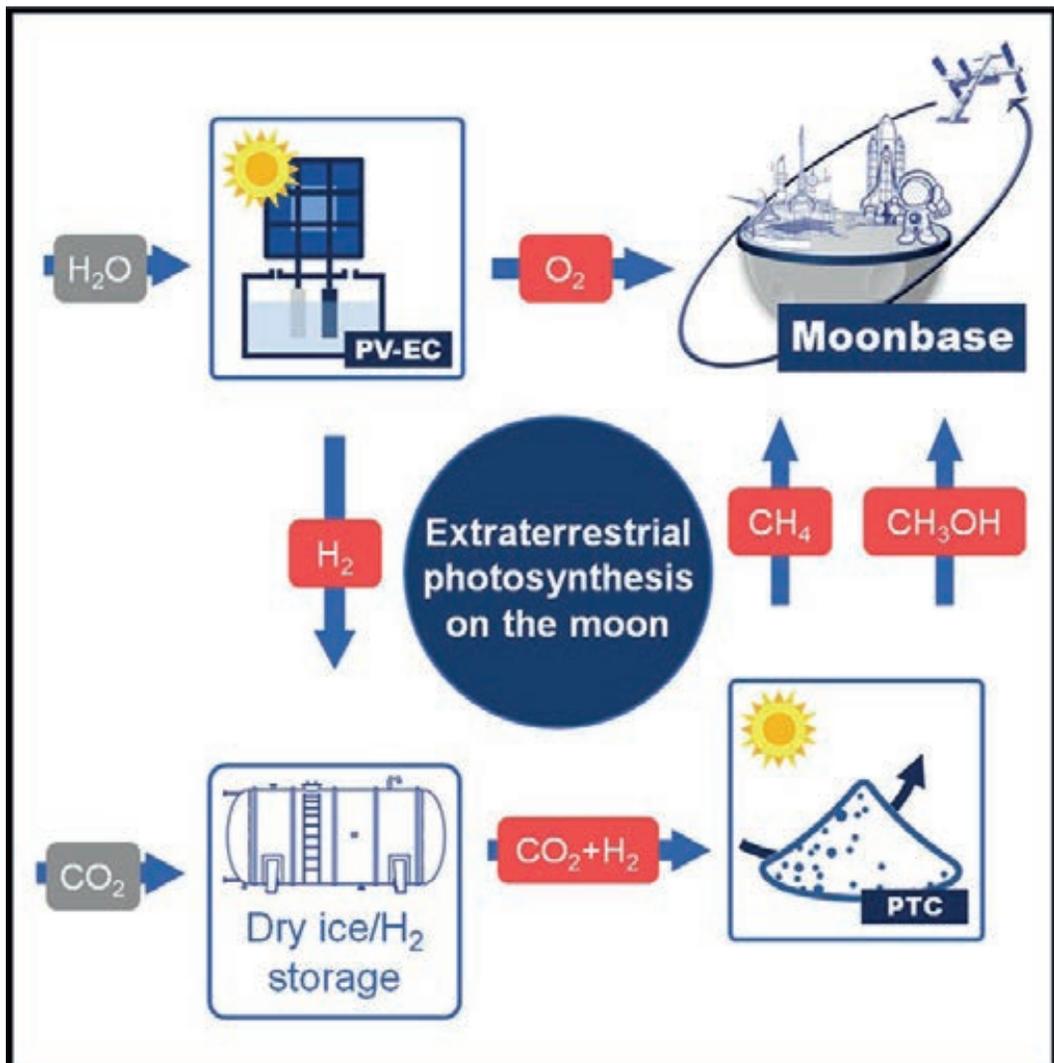


Figura 13 - Fotosintesi di terreno lunare - Chang'E-5 - Chin

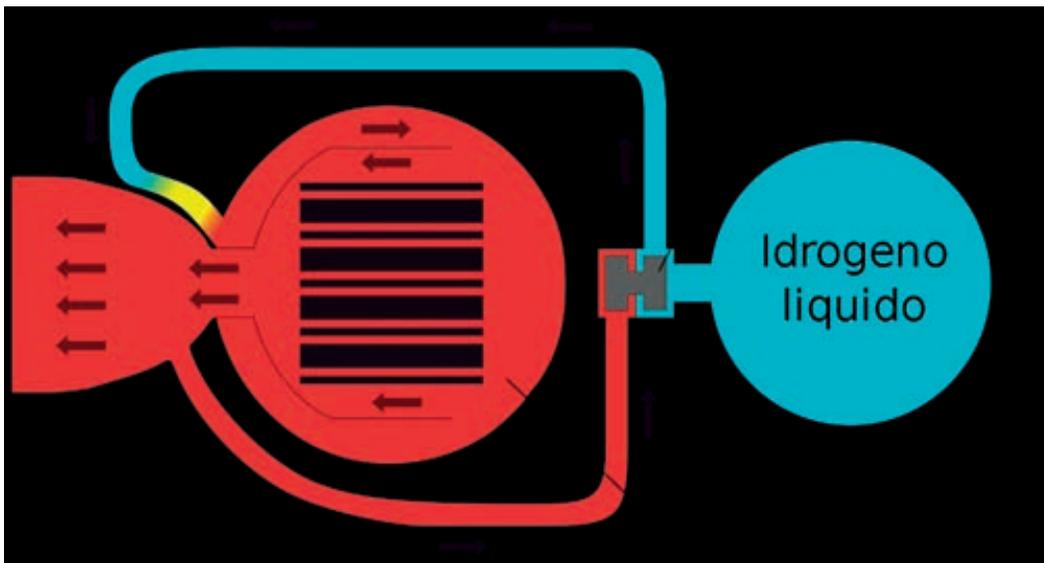


Figura 14 - Schema di razzo termico nucleare



Figura 15 - Immagine artistica del razzo DRACO – Rights Lockheed Martin

to con tre team guidati da BWX Technologies, General Atomics e Ultra Safe Nuclear Technologies per progettare il reattore nucleare di un tale motore a razzo.

Il VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket) utilizza sia la propulsione al plasma che quella a fusione. Il motore VASIMR crea plasma dall'idrogeno e quindi espelle quel plasma per fornire spinta.

Nella cellula anteriore l'idrogeno viene iniettato e viene ionizzato per creare plasma.

Nella cellula centrale si utilizza energia elettromagnetica e onde radio per riscaldare e ag-

giungere energia al plasma.

Nella cella di poppa un ugello magnetico converte l'energia del plasma in velocità dello scarico del getto (spinta). Il campo magnetico viene utilizzato per espellere il plasma e proteggere il veicolo spaziale dal plasma. Questo perché il plasma normalmente distrugge qualsiasi materiale con cui entra in contatto. Quando esce dall'ugello, il plasma si trova alla temperatura di circa 100 milioni di gradi Celsius.

Teorizzato quasi un secolo fa e in seguito per decenni nei laboratori, l'idrogeno metallico è stato alcuni anni fa ottenuto dall'Università di

Harvard. Ricercatori del Lyman Laboratory of Physics alla Harvard University di Cambridge, negli USA, sono riusciti a creare idrogeno metallico attraverso una speciale morsa con punte di diamante.

L'idrogeno metallico metastabile potrebbe avere un potenziale come propellente per razzi altamente efficiente, con un impulso specifico teorico fino a 1700 secondi. L'idrogeno metallico atomico, se metastabile a pressione e temperatura ambiente, potrebbe essere utilizzato come il più potente combustibile chimico per razzi, poiché gli atomi si ricombinano per formare idrogeno molecolare. Questo materiale leggero ad alta densità di energia rivoluzionerebbe la missilistica, consentendo ai razzi monostadio di entrare in orbita.

**Conclusioni**

L'articolo, ripercorrendo la storia dell'idrogeno

per propulsione spaziale, ha presentato i vantaggi e gli inconvenienti nell'utilizzo dell'idrogeno per la propulsione delle missioni spaziali, delineando come, già dalla prima proposta di uso dell'idrogeno per propulsione spaziale da parte dello scienziato russo Konstantin Tsiolkovsky nel 1903, l'equazione del razzo e l'impulso specifico del propellente descrivano le notevoli proprietà propulsive dell'idrogeno. Sono stati riportati i vari motori ad idrogeno sviluppati negli ultimi settanta anni e delineati gli obiettivi dell'uso dell'idrogeno negli attuali lanciatori. È stato inoltre evidenziato come si possa estrarre idrogeno dalla polvere lunare (regolite). È stato anche evidenziato come l'idrogeno sia essenziale anche nei futuri propulsori ad energia nucleare. Infine, è stata fatta menzione del cosiddetto "idrogeno metallico", un obiettivo futuristico molto efficace che di recente ha sperimentato alcuni successi di laboratorio.

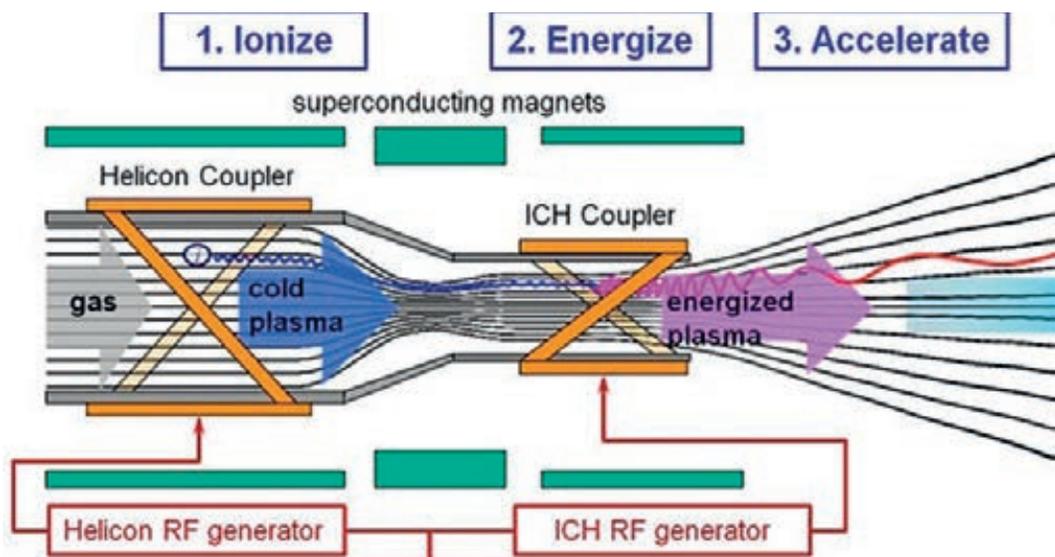


Figura 16 - Schema a blocchi del VASIMR – Rights



### Bibliografia

- NASA – Space Propulsion <https://www1.grc.nasa.gov/historic-facilities/rocket-laboratory/space-propulsion/>;
- NASA - Liquid Hydrogen as a Propulsion Fuel, 1945-1959 – NASA SP-4404;
- Development Trend of Liquid Hydrogen-Fueled Rocket Engines - <https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>;
- SLS (Space Launching System) - <https://www.eoportal.org/other-space-activities/sls#kennedy-space-center--ground-systems>;
- Development Trend of Liquid Hydrogen-Fueled Rocket Engines (Part 1: Performance and Operation) – SPRINGER - 2022 -<https://link.springer.com/article/10.1007/s42405-022-00519-7#citeas>;
- Daksh Verma - Fusion Rockets - <https://medium.com/@dverma1369/plutonem-adding-efficiency-to-space-travel-through-fusion-rockets-ed9261de0f8a>;
- ESA – Launch goes green with Spaceport hydrogen plan [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Europe\\_s\\_Spaceport/Launch\\_goes\\_green\\_with\\_Spaceport\\_hydrogen\\_plan](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Europe_s_Spaceport/Launch_goes_green_with_Spaceport_hydrogen_plan).



Quaderno



*Autore:*  
Ing. Emanuele Basile

*Revisionato da:*  
Ing. Michele Nava

*Commissione:*  
Project Management in  
ambito industriale



# **INDUSTRY 4.0 E COMPUTER AIDED ENGINEERING IN UN ESEMPIO DI ANALISI COMPUTAZIONALE DI MASSIMA**



Il settore spaziale è un terreno fertile per l'innovazione tecnologica, dove la necessità di produrre componenti sempre più performanti e in tempi rapidi è un imperativo. La produzione su scala globale dei vettori spaziali ha rivoluzionato questo scenario. Da un lato, la globalizzazione ha abbattuto i costi, consentendo una più ampia scelta di materiali e fornitori, nonché l'accesso a manodopera specializzata a prezzi competitivi. Dall'altro, la crescente personalizzazione delle missioni spaziali ha reso indispensabile una progettazione altamente customizzata. Prima di passare alla fase prototipale, un'accurata progettazione virtuale è fondamentale per ottimizzare le prestazioni e ridurre i tempi di sviluppo. Questo articolo si concentrerà su uno studio computazionale di un vettore a due stadi operante in orbita bassa, come esempio di progettazione iniziale di un sistema destinato a impieghi spaziali. Il trasferimento di strutture satellitari (payload) in orbita richiede simulazioni al computer che riproducano realisticamente le condizioni di volo (flight envelope). Un'elevata accuratezza nelle fasi di progettazione è fondamentale per ridurre i costi, sia in fase di produzione e realizzazione, sia durante l'esecuzione della missione. I principali obiettivi sono due: garantire che la struttura del vettore sia in grado di sostenere i carichi applicati per tutta la durata della missione, e minimizzare l'aggiunta di peso superfluo, il quale comporterebbe un aumento del consumo di carburante per il trasporto di strutture non facenti parte del payload, sia nelle fasi pre-lancio che durante il volo. La sfida principale è quella di combinare leggerezza con resistenza meccanica e termica, particolarmente nel settore spaziale, dove i costi aumentano esponenzialmente e la concorrenza impone una continua ottimizzazione per mantenere la competitività. Di conseguenza, sono necessari studi sempre più approfonditi per restare competitivi in un mercato in continua evoluzione, con barriere d'ingresso sempre più alte. Eseguire studi dettagliati e progressivi della struttura prima di passare alla fase di produzione è dunque essenziale. Il principio manageriale "plan slow, act fast" trova una chiara applicazione anche in questo contesto: la fase di analisi deve precedere e accompagnare l'intero processo di realizzazione, per garantire un'ottimizzazione continua. Una produzione rapida e ben pianificata, inoltre, permette un ingresso più efficace e competitivo sul mercato. Il ciclo di vita del prodotto inizia con le simulazioni al computer, passa attraverso la produzione e si conclude con la dismissione della componentistica. Questo processo copre tutti gli aspetti della progettazione, dello sviluppo, dell'assemblaggio, dell'integrazione e della verifica di sistemi complessi che operano in ambienti estremi. Nell'era dell'Industry 4.0, il

ciclo di vita del prodotto richiede non solo una precisione elevata, ma anche maggiore velocità di esecuzione.

Le moderne tecniche di CAE (Computer-Aided Engineering), in continua evoluzione e miglioramento, giocano un ruolo cruciale nella corsa verso l'ottimizzazione del prodotto finale, facilitando le analisi strutturali, accelerando i processi e modernizzando costantemente i prodotti. Il lanciatore viene analizzato in varie configurazioni e condizioni di volo per garantire che i diversi scenari siano validati prima della progettazione e realizzazione dei componenti fisici. Studi accurati vengono condotti durante tutte le fasi di sviluppo dei moduli che costituiscono i vettori, con particolare attenzione alle fasi precedenti la produzione. Partendo da un'analisi generale della struttura, si procede alla verifica delle parti costituenti, approfondendo progressivamente i dettagli fino al dimensionamento delle singole sezioni e alla verifica mirata delle parti maggiormente sollecitate durante i vari involucri di volo. Nel caso presentato in questo articolo, si analizza il comportamento meccanico e termico di un lanciatore a due stadi per orbite basse e i relativi flight envelope. Vengono presentate una verifica con carichi termici, due validazioni "quasi-static" ed una un'analisi modale sulla struttura completa del vettore. Questa è la prima fase (denominata CAT A) del dimensionamento strutturale, a cui seguono normalmente fasi più dettagliate, in cui sezioni più piccole ma con un maggior grado di complessità e dettaglio della componentistica vengono analizzate con approcci simili, utilizzando CAE o metodologie analoghe. Questo modus operandi rappresenta un esempio di come si conduca una validazione iniziale mediante codici a Elementi Finiti (Finite Element Analysis, o più semplicemente FEA).

## DESIGN E FLIGHT ENVELOPE DEL VETTORE

Diversi studi sono necessari per validare strutture complesse come i lanciatori utilizzati nel settore spaziale. In particolare, l'analisi modale ha lo scopo di valutare il comportamento elastico della struttura e identificare le frequenze critiche durante la fase di volo, solitamente inferiori a 70 Hz. Gli studi termici, invece, sono finalizzati a verificare il comportamento del lanciatore in termini di trasferimento di calore nelle diverse fasi del volo. Le analisi "quasi-statiche" prendono in considerazione insiemi di carichi meccanici, selezionati per rappresentare il peggior scenario possibile (worst-case scenario), all'interno di un intervallo di carichi applicati.

Queste verifiche sono state condotte su un vettore con geometria e caratteristiche simili a quelle del Rock-Al-Khali (RAK), un lanciatore a due stadi, operante fino all'esosfera ad un'altitu-

dine di 2.000 km. Il RAK è un "sounding rocket", utilizzato principalmente per raccogliere dati sulle condizioni atmosferiche in diverse situazioni ambientali, con un carico utile di 100 kg. Questa tipologia di vettore può avere impiego in missioni militari o commerciali per carichi che non includono esseri umani.

I due stadi che costituiscono il vettore sono composti da un involucro esterno in lega di alluminio (Al7040), motore, propellente solido, ugello, interstadio e, per il solo primo stadio, quattro stabilizzatori alari. La struttura del vettore è completata da una Canard Box, anch'essa dotata di quattro stabilizzatori di dimensioni mi-

nori, e da un'ogiva che ospita il payload.

Un vantaggio di un sistema a due stadi rispetto a uno a stadio singolo è che la maggior parte della massa del veicolo non viene trasportata per l'intera fase di trasferimento in orbita ma solo per il tempo di suo utilizzo. Questo riduce i costi associati al raggiungimento della velocità orbitale, poiché gran parte della massa del motore viene espulsa, e la parte restante del vettore che raggiunge l'orbita è costituita principalmente dal carico utile. Inoltre, essendo meno complesso rispetto a un lanciatore a tre o più stadi, questo sistema offre una maggiore probabilità di successo della missione. Il vettore è alimentato in-

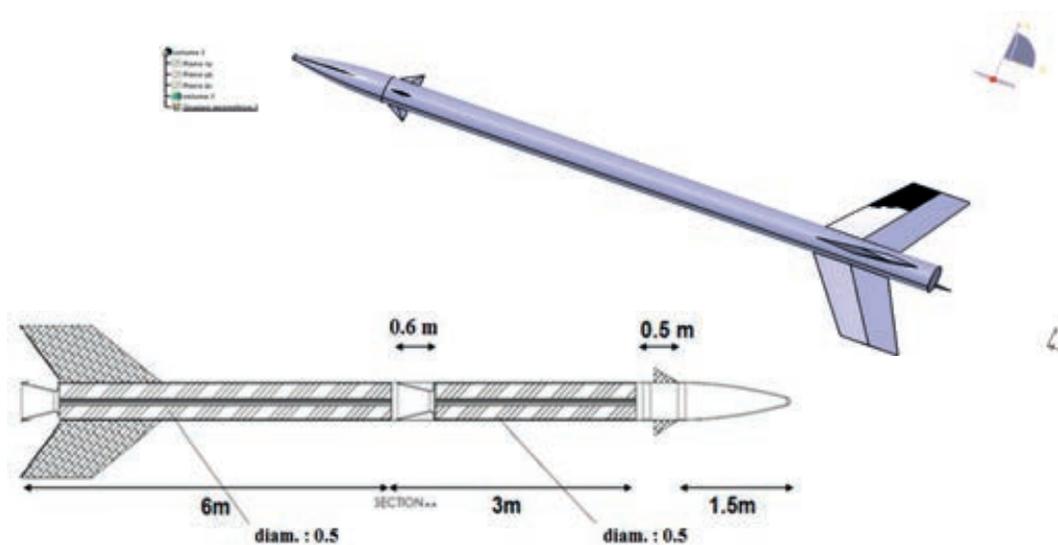


Figura 1 – RAK, modello CAD completo.

Caratteristiche	Valori Numerici
Lunghezza Totale	11 m
Diametro	0.5 m
Massa al decollo	2360 Kg
Massa strutturale – Primo stadio	330 Kg
Massa con propellente – Primo stadio	1021 Kg
Massa Iniziale – Secondo Stadio	1036 Kg
Massa strutturale – Secondo stadio	120 Kg
Massa con propellente – Secondo stadio	600 Kg
Ogiva	100 Kg

Tabella 1 – RAK, Caratteristiche di massa.

Fasi di Carico		QLS (g) 9+ = tensione; - = compressione		
		Longitudinale		Laterale
		Compressione	Tensione	
1	Fase di decollo	-4.5	3	±0.9
2	Volo con massima pressione dinamica ( $Q_{max}$ )	-3	N/A	±0.9
3	1 <sup>st</sup> Stadio – Volo con massima accelerazione	-5	N/A	±0.7
4	2 <sup>nd</sup> Stadio – Distacco e volo	-5	-3	±0.7
	3 <sup>rd</sup> Stadio – Distacco			
5	3 <sup>rd</sup> Stadio – Massima Accelerazione	-7	N/A	±0.2
		$+M^{(1)}/1000$		
6	AVUM <sup>(2)</sup> – Condizioni di Volo	-1	-0.5	±0.7
1	Fase di decollo	-4.5	3	±0.9
2	Volo con massima pressione dinamica ( $Q_{max}$ )	-3	N/A	±0.9
3	1 <sup>st</sup> Stadio – Volo con massima accelerazione	-5	N/A	±0.7

(1) M: massa del vettore [kg]

(2) AVUM – aviation unit maintenance (manutenzione unità aerospaziali)

Tabella 2 – Esempio di involuppo di carichi per vettore a 2 stadi.

teramente a propellente solido e utilizza l'HTPB (Hydroxyl-terminated polybutadiene).

Per quanto riguarda i carichi esterni applicati al vettore spaziale, questi possono essere suddivisi in carichi termici e meccanici. Dal punto di vista termico, il sistema è soggetto a diverse condizioni di calore a seconda della variazione di altitudine e dell'attività solare. In particolare, le temperature aumentano bruscamente nella termosfera inferiore (sotto i 200-300 km di altitudine), per poi stabilizzarsi e mantenersi relativamente costanti con l'aumentare dell'altitudine oltre questa quota. D'altra parte, l'attività solare influisce notevolmente sulla temperatura nella sezione dell'atmosfera denominata termosfera; in questa regione, la temperatura può essere circa 200 °C più alta di giorno rispetto alla notte e circa 500 °C più alta durante i periodi di alta attività solare rispetto ad altri periodi. Le temperature nella termosfera superiore possono variare da circa 500 °C a 2.000 °C.

Dal punto di vista delle sollecitazioni meccaniche, queste sono causate dalla velocità del vettore, dalla sua direzione di ascesa e dalla forza di gravità. Per lo studio condotto, è possibile considerare un tempo medio di 470 s per il secondo stadio del lanciatore e un tempo di volo totale di 690 s. Con queste premesse, si può ipotizzare una velocità media di 2.9 km/s. I carichi associati al lanciatore sono definiti come carichi quasi-statici (QSL), che si applicano al suo baricentro e rappresentano le combinazioni più severe di accelerazioni dinamiche e statiche che il lanciatore può incontrare in qualsiasi istante della missione. Con queste premesse e utilizzando adeguati sistemi di calcolo, è possibile estrapolare per un lanciatore a due stadi come quello analizzato degli involuppi di volo

più complessi che considerano le accelerazioni nelle varie fasi del volo. Ai fini degli studi preliminari e del dimensionamento di massima richiesto per la fase CAT A, i carichi vengono applicati al centro di gravità del vettore completo; l'involuppo di carico considerato è il 'worst-case scenario', ovvero quella combinazione di carichi applicati nelle varie direzioni secondo le condizioni di maggiore entità.

In sintesi, le analisi eseguite considereranno le seguenti condizioni di carico:

- Involuppo termico (MSC.Nastran SOL 101): analisi con carichi termici, utilizzando un carico applicato di 900°C, che decresce dalla parte superiore (sezione dell'ogiva) fino alla parte inferiore del lanciatore. Questo carico corrisponde a quello a cui è soggetta la superficie della lega di alluminio (Al7040), ipotizzando che le protezioni termiche permettano di mantenere la maggior parte del carico termico sulla superficie.
- Involuppo 1 "Quasi-static" (MSC.Nastran SOL 101): analisi in cui un insieme di carichi applicati in direzione trasversale considera i peggiori carichi aerodinamici (worst-case scenario) sul veicolo in condizioni di vento.
- Involuppo 2 "Quasi-static" (MSC.Nastran SOL 101): analisi con carichi meccanici, in cui carichi inerziali sono applicati al centro di massa della struttura nel worst-case scenario. L'involuppo di carico è stato considerato costantemente decrescente (rapporto lineare tra temperatura applicata e lunghezza del lanciatore), e la struttura è stata vincolata nella parte inferiore con carichi isostatici. L'accelerazione assiale del lanciatore dovuta al suo sistema di propulsione è pari a 10

Tipologia di carico	Direzione	Valore
Carico inerziale	Assiale	10 g
Carico inerziale	Trasversale	1 g
Pressione esterna	Normale alla superficie del lanciatore (diretta dalla parte esterna verso quella interna)	$10^5$ Pa
Pressione dinamica	Normale alla superficie del lanciatore (diretta dalla parte esterna verso quella interna)	Carico variabile sulla sezione dell'ogiva da $5 \times 10^5$ Pa a $2.5 \times 10^3$ Pa
Carico inerziale	Assiale	10 g
Carico inerziale	Trasversale	1 g
Pressione esterna	Normale alla superficie del lanciatore (diretta dalla parte esterna verso quella interna)	$10^5$ Pa
Pressione dinamica	Normale alla superficie del lanciatore (diretta dalla parte esterna verso quella interna)	Carico variabile sulla sezione dell'ogiva da $5 \times 10^5$ Pa a $2.5 \times 10^3$ Pa
Carico inerziale	Assiale	10 g

Tabella 3 – Set di carico “Quasi-Static”, Inviluppo 1.

g nella direzione assiale, dove “g” è l’accelerazione di gravità ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

- Inviluppo modale (MSC.Nastran SOL 103): analisi dell’intera struttura senza alcun carico applicato (free-free analysis).

### INPUT ANALYSIS COMPUTAZIONALE (METODOLOGIA FEA)

La metodologia di calcolo agli Elementi Finiti (FEA) si basa su simulazioni computerizzate che analizzano il comportamento di una parte o di un intero assemblato sottoposto a determinate condizioni meccaniche o termiche. L’obiettivo principale è valutare la distribuzione dei carichi all’interno della struttura meccanica e individuare le aree maggiormente sollecitate, in modo da dimensionarle correttamente. La tecnica FEA permette di simulare fenomeni meccanici e termici, riducendo la necessità di costruire prototipi fisici e consentendo l’ottimizzazione dei componenti come parte integrante del processo di progettazione.

Questo approccio si basa su modelli matematici per comprendere e quantificare gli effetti delle condizioni reali su una struttura meccanica. Le simulazioni permettono di rilevare potenziali criticità nel progetto, incluse le aree soggette a stress meccanico e i punti più vulnerabili della struttura.

L’analisi FEA (Finite Element Analysis) è una metodologia di simulazione utilizzata per studiare il comportamento di strutture meccaniche o sistemi fisici complessi, sottoposti a vari tipi di sollecitazioni (come forze, calore o vibrazioni). Si basa su un modello matematico che scompone una struttura in piccole parti (chiamate “elementi finiti”) e simula come queste reagiscono sotto determinate condizioni.

Questa tecnica, ampiamente utilizzata in ingegneria meccanica, aerospaziale, civile e in

molte altre discipline per ottimizzare i progetti, ridurre i costi di produzione e migliorare le prestazioni dei prodotti senza dover costruire numerosi prototipi fisici, si può sintetizzare con i seguenti passi:

- **Scomposizione in elementi finiti:** Il sistema o la struttura da analizzare viene suddiviso in tanti piccoli “elementi” collegati tra loro tramite “nodi”. Questi elementi possono essere di varie forme (triangoli, quadrati, cubi, ecc.) e la combinazione di tutti gli elementi crea una rappresentazione approssimata dell’intera struttura.
- **Simulazione delle condizioni reali:** Una volta suddivisa la struttura, vengono applicate le condizioni di carico, come la forza, la pressione o la temperatura, agli elementi. La simulazione calcola quindi la reazione della struttura a questi fattori.
- **Risoluzione delle equazioni:** Attraverso l’uso di equazioni matematiche (equazioni differenziali parziali), si determinano come le forze, lo stress meccanico e la deformazione si distribuiscono all’interno degli elementi. Le soluzioni fornite da FEA sono discrete, cioè calcolate solo in corrispondenza dei nodi.
- **Interpretazione dei risultati:** I risultati ottenuti mostrano le zone della struttura che sono più sollecitate (aree di maggiore stress o deformazione) e permettono di capire dove il progetto potrebbe essere migliorato.

Entrando nel dettaglio dell’analisi eseguita, per valutare il comportamento meccanico e termico del modello agli elementi finiti sono state condotte le seguenti analisi:

- **Analisi termica:** è una tecnica utilizzata per studiare e comprendere il comportamento

di una struttura o di un materiale in presenza di variazioni di temperatura. Questo tipo di analisi viene utilizzato in vari campi dell'ingegneria, come l'ingegneria meccanica, civile, aerospaziale e dei materiali, per valutare l'effetto del calore su un sistema. I principali aspetti dell'analisi termica includono: Distribuzione della temperatura, Conduzione, Convezione, Irraggiamento, Condizioni al contorno, Carichi termici. In generale, l'analisi termica può essere utilizzata per ottimizzare le prestazioni termiche dei materiali e delle strutture, prevenendo problemi legati a surriscaldamenti o raffreddamenti eccessivi.

- Analisi "quasi-static": è una tecnica utilizzata per studiare il comportamento di strutture e materiali sottoposti a carichi che variano molto lentamente nel tempo, a un ritmo tale che gli effetti dinamici (come inerzia e vibrazioni) sono trascurabili. In altre parole, si considera la risposta della struttura come se fosse statica, anche se i carichi possono cambiare lentamente.
- Analisi modale: è una tecnica utilizzata in ingegneria strutturale e meccanica per studiare il comportamento dinamico di una struttura sottoposta a vibrazioni. L'obiettivo principale di questa analisi è quello di determinare le **frequenze naturali** (o frequenze proprie) della struttura, che sono le frequenze alle quali la struttura tende a vibrare spontaneamente se viene eccitata.

I modelli FEA sono stati realizzati utilizzando elementi piani o shell (tipo CQUAD4 e CTRIA3) per la struttura principale del lanciatore. Elementi solidi (tipo CHEXA e CTETRA) sono stati

utilizzati per modellare le ali stabilizzatrici nella sezione inferiore del primo e del secondo stadio del lanciatore. Modellare le ali per la stabilizzazione con questo approccio conferisce un maggiore livello di rigidità alle sezioni alari e alle zone di giunzione con la fusoliera del lanciatore. Elementi zero-dimensionali (CMASS1) sono stati introdotti nelle due sezioni del lanciatore in cui si trova il propellente. Questa soluzione consente una distribuzione uniforme del peso del propellente, concentrando il peso nella zona centrale del lanciatore e riducendo le risorse computazionali necessarie, poiché non richiede l'aggiunta di un elevato numero di elementi solidi con basse proprietà meccaniche per simulare il carburante. Inoltre, evita la presenza di elementi bidimensionali sulle facce esterne del serbatoio con densità maggiore, che potrebbero disallineare localmente i carichi. Le masse concentrate, elementi zero-dimensionali, sono vincolate agli elementi esterni del guscio mediante MPC (Multi-Point Constraints), tipo RBE2.

Il corpo principale del lanciatore è realizzato in lega di alluminio tipo Al7040, specificamente progettata per applicazioni aeronautiche e spaziali. Le sezioni della carenatura e del motore sono realizzate in acciaio tipo AISI4130, utilizzato per i vani motore e le sezioni di carenatura. Le ali sono realizzate in materiale composito tipo HMCF (fibra di carbonio ad alto modulo), che consiste in una matrice epossidica rinforzata con fibre di carbonio.

### MODELLO FEA, CARICHI APPLICATI ED OUTPUT

La fase preparatoria all'analisi FEA prevede non solo la definizione degli elementi, ma anche l'identificazione di carichi e vincoli per la struttura.



Figura 2 – Modello FEA globale.

Legga di Alluminio 7040			Acciaio tipo AISI 4130			Materiale composito HMCF		
Specifiction	AMS 4211		Specifiction	AISI 4130		Specifiction	HMCF – High Modulus Carbon Fiber Composite	
Form	Plate		Form	Sheet, strip and tubing		Form	Plate -sheet	
Temper	T7451		Temper	Normalised and tepered, stress relieve				
Young's Modulus	10.4*10 <sup>9</sup> Psi	71.7 MPa	Young's Modulus	29.0*10 <sup>9</sup> Psi	200 MPa	Elastic Modulus	25.4*10 <sup>9</sup> Psi	175 MPa
Poisson Ratio	0.3	0.3	Poisson Ratio	0.32	0.32	Poisson Ratio	0.32	0.32
Shear Modulus	3.9*10 <sup>9</sup> Psi	27.6*10 <sup>6</sup> Pa	Shear Modulus	11.0*10 <sup>9</sup> Psi	76.9 Pa	Shear Modulus	9.76*10 <sup>9</sup> Psi	67.3 MPa
Density	0.102 lb/in <sup>3</sup>	2.82 g/mm <sup>3</sup>	Density	0.283 lb/in <sup>3</sup>	7.83 g/mm <sup>3</sup>	Density	5.8*10 <sup>-2</sup> lb/in <sup>3</sup>	1.6 g/mm <sup>3</sup>

Tabella 4 – Materiali utilizzati per la modellazione FEA.

In dettaglio, i carichi applicati sul modello FEA per l'analisi termica comprendono:

- Temperatura decrescente uniformemente: si applica una temperatura decrescente da 700 °C a 140 °C su tutto il lanciatore (tramite funzione di campo). Questo simula la temperatura sulla superficie del lanciatore, che è coperta da scudi termici. È importante notare che una temperatura non uniforme, ma variabile costantemente, è più critica dal punto di vista strutturale, rappresentando uno scenario peggiore (worst-case scenario).
- Vincoli: i vincoli sono applicati su una delle due estremità del lanciatore (quella inferiore) in modo da ottenere un sistema di vincoli isostatico. Questo include un vincolo tipo

cerniera per limitare gli spostamenti assiali e longitudinali, e quattro vincoli tipo carrello posizionati in punti specifici della circonferenza per completare il sistema di vincoli senza ipervincolare la struttura.

Applicando il flight envelope (carichi termici e vincoli) precedentemente descritto, si ottiene una distribuzione dei carichi con un valore massimo di  $3.90 \times 10^2$  MPa per il massimo stress di Von Mises. Utilizzando questo valore di sollecitazione e facendo riferimento ai limiti ammissibili della lega di alluminio (Al7040), è possibile calcolare il valore minimo del reserve factor utilizzando l'equazione:

$$RF = \frac{\text{Allowable (Al7040)}}{\text{Max Von Mises Stress}} = \frac{4.28 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{3.90 \cdot 10^8 \text{ Pa}} = 1.10 > 1$$

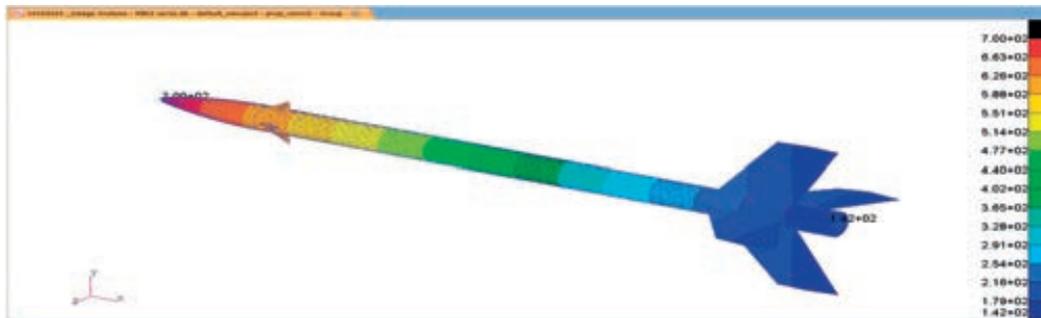


Figura 3 – Distribuzione involuppo termico sulla superficie del lanciatore.

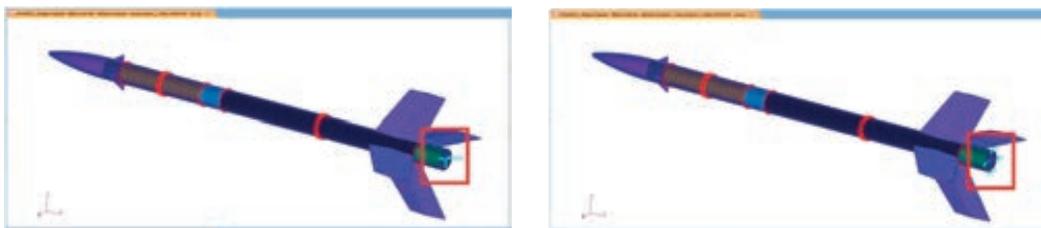


Figura 4 – Disposizione dei vincoli nella struttura.

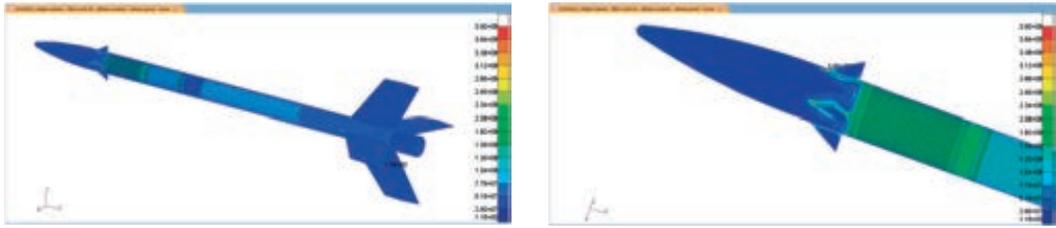


Figura 5 – FEA output, Max Von Mises stress [MPa].

Per quanto riguarda l'analisi meccanica di tipo "quasi-static", sono state considerate due analisi principali in questo studio. I carichi e vincoli applicati nel primo caso sono:

- Una pressione uniforme decrescente, che varia da 0.5 MPa fino a  $2.5 \times 10^3$  Pa (dinamica).
- Un carico di pressione costante applicato su tutta la lunghezza del lanciatore dalla parte esterna del corpo, pari a 0.33 MPa, per simulare l'effetto statico dell'atmosfera.
- Un carico inerziale di 10 g (dove  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>), applicato al centro di gravità (CoG), per simulare la spinta del motore nella direzione assiale.
- Una forza inerziale di 1 g, applicata al centro di gravità (CoG) del sistema, per simulare eventuali disallineamenti dalla direzione assiale.
- Nessun vincolo viene applicato alla struttura per simulare la reale modalità di volo; si utilizza una simulazione al computer che considera l'inerzia globale del sistema, tramite l'approccio di inertia relief con l'uso del comando "PARAM, INREL, -1".

I risultati dell'analisi FEA, ottenuti applicando il flight envelope (carichi meccanici e vincoli) presentati, mostrano una distribuzione dei carichi con un valore massimo di  $1.22 \times 10^8$  MPa per lo stress di Von Mises massimo. Utilizzando questo valore di sollecitazione e facendo riferimento ai limiti ammissibili della lega di alluminio (Al7040), è possibile calcolare il fattore di riserva minimo secondo l'equazione:

$$RF = \frac{\text{Allowable (Al7040)}}{\text{Max Von Mises Stress}} = \frac{4.28 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{1.22 \cdot 10^8 \text{ Pa}} = 3.51 > 1$$

La seconda tipologia di analisi "quasi-static" considera i carichi trasversali secondo i seguenti sviluppi:

- Un carico trasversale applicato al centro di gravità (CoG) del lanciatore, simulando il peso complessivo a pieno carico del vettore di lancio (2360 kg) in direzione trasversale.
- Quattro diversi set di carichi sull'ogiva (due carichi che simulano un carico parabolico ascendente e uno discendente) e sulla sezione di coda dell'ala (due carichi che si-

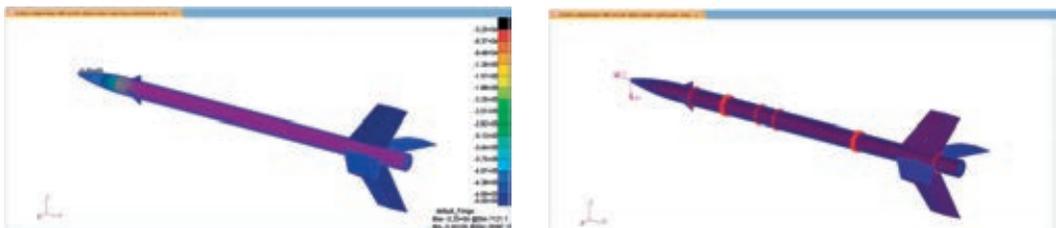


Figura 6 – Distribuzione pressioni (sulla superficie) e carichi inerziali (sul CoG) del lanciatore.

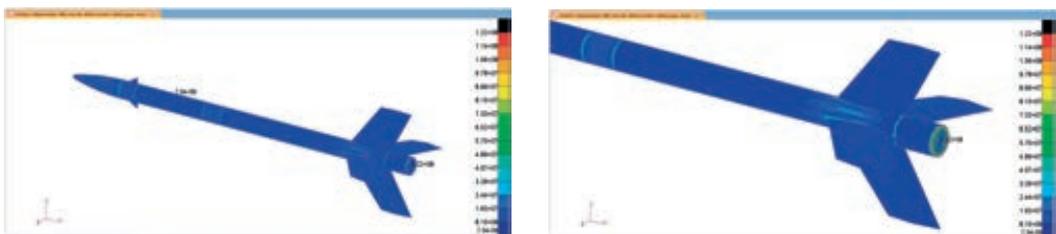


Figura 7 – FE output, Max Von Mises stress [MPa], globale e dettaglio massimo valore in sezione di coda.

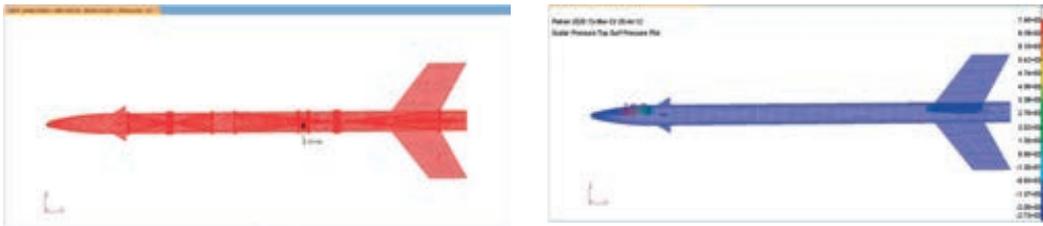


Figura 8 – Distribuzione carico trasversale (sul CoG) e carichi sull’ogiva del lanciatore.

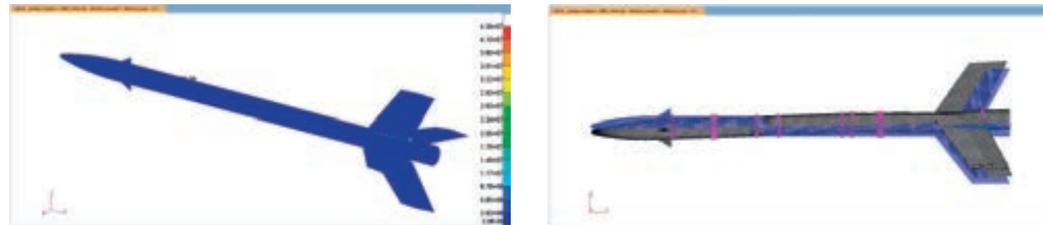


Figura 9 – FE output, Max Von Mises stress [MPa] e deformazione globale della struttura sotto l’effetto del carico.

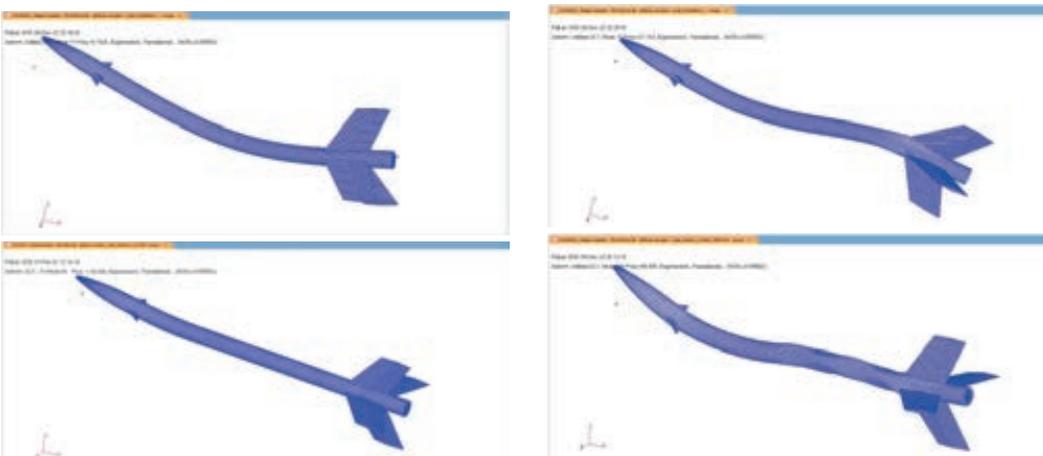


Figura 10 – FE output, prime 4 frequenze proprie della struttura costituita dall’intero lanciatore.

- L’uso del parametro INREL (inertia relief) per simulare le condizioni di volo, con una struttura non vincolata ma dotata di inerzia per bilanciare i carichi.

Dall’analisi FEA condotta per questo caso, si ottiene che il massimo valore dello stress di Von Mises è di 43.9 MPa. Analogamente a quanto fatto in precedenza, è possibile calcolare il minimo factor di riserva utilizzando lo stesso valore ammissibile della lega Al7040:

$$RF = \frac{\text{Allowable (Al7040)}}{\text{Max Von Mises Stress}} = \frac{4.28 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{4.39 \cdot 10^7 \text{ Pa}} = 9.75 > 1$$

Per completare le verifiche preliminari del lanciatore e valutarne la resistenza termica e meccanica, è stata condotta un’analisi modale dell’intera struttura per individuare le frequenze naturali o di risonanza. Questo approccio consente di identificare la gamma di frequenze operative e il range di utilizzo del lanciatore. Per questa verifica, non sono stati applicati vincoli o carichi alla struttura, poiché si tratta di un’analisi “free-free”, mirata a valutare il comportamento meccanico in condizioni di componente non vincolato. Il range di frequenze di interesse per questo studio è quello inferiore ai 70 Hz, oltre il quale normalmente la struttura non viene sollecitata. Escludendo le 6 frequenze di corpo libero (3 per le sollecitazioni trasversali lungo i tre assi e 3 per le rotazioni

attorno agli stessi), sono state identificate 4 frequenze al di sotto dei 70 Hz.

1 <sup>st</sup> Freq. [Hz]	2 <sup>nd</sup> Freq. [Hz]	3 <sup>rd</sup> Freq. [Hz]	4 <sup>th</sup> Freq. [Hz]
8.79	21.73	39.3	65.47

Tabella 5 – Frequenze proprie del lanciatore.

## CONCLUSIONI

Il razzo a due stadi (RAK) è stato sottoposto a una serie di analisi numeriche (statiche, termiche, meccaniche e modali) per valutarne il comportamento strutturale in diverse condizioni di carico. Le simulazioni statiche, termiche, meccaniche e modali hanno evidenziato una buona rispondenza del modello strutturale. Si sottolinea che questa analisi rappresenta un dimensionamento preliminare di tipo CAT A, necessario per avviare un processo di progettazione più dettagliato. Le successive fasi di studio richiedono un'analisi approfondita di ogni componente del razzo, al fine di ottimizzare il progetto e garantire la sicurezza del sistema. In conclusione, i risultati ottenuti confermano la fattibilità del concept e aprono la strada a studi più specifici.

L'esempio presentato in questo studio illustra un approccio innovativo per accelerare il processo di dimensionamento strutturale, riducendo, sebbene non eliminando del tutto, il numero di test necessari prima della produzione del lanciatore destinato alla missione. L'integrazione di metodi computazionali avanzati, abbinata alla

prototipazione in piccole serie, costituisce una valida alternativa all'approccio tradizionale, che si basa su un numero maggiore di test sperimentali su larga scala per ottenere una validazione empirica più robusta del sistema di lancio. Questo approccio, supportato dalla prototipazione a piccola scala, consente una maggiore personalizzazione del prodotto e un miglior allineamento alle specifiche richieste del cliente. Tra i vantaggi aggiuntivi della prototipazione in serie ridotte si evidenziano l'ottimizzazione delle risorse impiegate, sia in termini economici che di personale, una maggiore flessibilità nell'integrare feedback nelle fasi di sviluppo, nonché un controllo più rigoroso della qualità percepita dal cliente finale. L'attuale stato dell'arte, che sfrutta dati raccolti da missioni precedenti combinati con modelli numerici specifici per il lanciatore in esame, permette di ottimizzare le fasi di dimensionamento, rendendole più rapide, meno onerose e, di conseguenza, più competitive. Tuttavia, questo approccio richiede un utilizzo intensivo di risorse computazionali. I progressi nei sistemi di calcolo avanzato e l'accesso a banche dati condivise agevolano significativamente la diffusione di tali metodologie. L'avvento dell'Industry 4.0 riveste un ruolo centrale in questo contesto, favorendo la creazione di sinergie e la condivisione di informazioni attraverso piattaforme digitali, un tempo inaccessibili. In un futuro prossimo, questo paradigma operativo vedrà una diffusione crescente, rendendo tali processi sempre più comuni e consolidati nell'ambito della progettazione e sviluppo di vettori di lancio.



### **Bibliografia**

- DOT/FAA/AR-MMPDS-01 – Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) – Office of Aviation Research Washington, D.C. 20591 – January 2003
- NX Nastran 10 – Quick Reference Guide – Siemens
- R. Newlands, M. Heywood, A. Lee – “Rocket vehicle loads and airframe design” – Aspirepace technical papers – 2016



*Autore:*  
Ing. Massimo Giustiniani

*Revisionato da:*  
Ing. Paola Rocco

*Commissione:*  
Sicurezza informatica

# **COLONIAL PIPELINE ATTACK: UN ATTACCO RANSOMWARE AD UNA INFRASTRUTTURA CRITICA STATUNITENSE**

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA



A circa tre anni dall'attacco all'oleodotto gestito da Colonial, che portò al blocco del trasporto di carburanti per diversi giorni nel maggio 2021, rivisitiamo le vicende di quei giorni, che negli Stati Uniti ebbero un impatto rilevante.

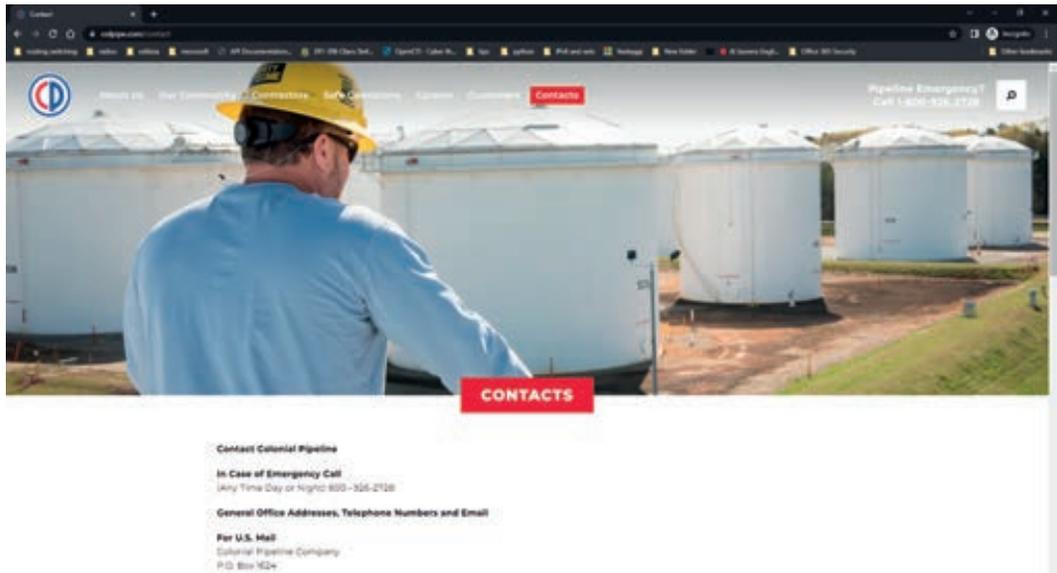


Figura 1 - Home page del sito Web di Colonial Pipeline.

## Attacco all'oleodotto Colonial



Figura 2 - Estensione dell'oleodotto Colonial

### Descrizione dell'attacco

Colonial Pipeline è la più grande infrastruttura per il trasporto di prodotti raffinati negli Stati Uniti: trasferisce più di 100 milioni di galloni di carburante al giorno (circa 380 milioni di litri) attraverso un sistema di condutture che si estende per oltre 5.500 miglia (quasi 10.000 Km) tra Houston, Texas e Linden, New Jersey e gestisce il 45% di tutte le consegne di petrolio sulla costa orientale degli Stati Uniti. Venerdì 7 maggio 2021 alle 5:00 del mattino Colonial Pipeline rimase vittima di un attacco ransomware; alle 6:00 il sistema di fatturazione si presentava completamente bloccato e il gasdotto venne conseguentemente fermato dal Colonial Incident Response Team. Colonial

dovette pagare un riscatto di 75 bitcoin (all'epoca circa 4 milioni di dollari) a DarkSide, il gruppo di hacker responsabile dell'attacco. Una gran parte di esso, 63,7 Bitcoin, venne successivamente recuperata dall'FBI.

Colonial rimase inattiva fino a mercoledì 12 maggio, quando iniziò un lento recupero delle operazioni: lo strumento di decrittazione dei dati fornito da DarkSide a seguito del pagamento del riscatto impiegò molto tempo per ripristinare i dati e i sistemi.

### Cronologia dell'attacco all'oleodotto gestito da Colonial

6 maggio 2021

- Intrusione iniziale e furto di dati.

7 maggio 2021

- Inizio dell'attacco ransomware.
- Colonial Pipeline viene a conoscenza della violazione.
- La società di sicurezza Mandiant viene chiamata per indagare e rispondere all'attacco.
- Le forze dell'ordine e le autorità del governo federale vengono informate dell'attacco.
- L'oleodotto viene fermato per ridurre il rischio di esposizione alla rete operativa.
- Colonial Pipeline paga un riscatto di 75 bitcoin (4,4 milioni di dollari).

9 maggio 2021

- Dichiarazione dello stato di emergenza da parte del Presidente degli Stati Uniti Joe Biden.

12 maggio 2021

- Viene riavviato parzialmente l'oleodotto.

7 giugno 2021

- Il Dipartimento di Giustizia recupera 63,7 bitcoin – circa 2,3 milioni di dollari – dagli aggressori.

8 giugno 2021

- Udienza del Congresso sull'attacco.

### Impatto

L'obiettivo principale dell'attacco era l'infrastruttura di fatturazione dell'azienda, non i sistemi di pompaggio del carburante, che rimasero in grado di funzionare.

Colonial Pipeline sostenne di aver chiuso l'oleodotto a scopo precauzionale per il timore che gli hacker potessero ottenere informazioni che avrebbero consentito loro di effettuare ulteriori attacchi alle parti vulnerabili dell'oleodotto. Secondo fonti della CNN dell'epoca, l'attività dell'oleodotto venne interrotta per l'impossibilità di fatturare ai clienti i carburanti inviati.

La chiusura delle condutture portò a problemi di distribuzione e conseguenti acquisti di massa dettati dal panico, prosciugando i depositi di migliaia di stazioni di servizio nel sud-est. Alla fine, Carolina del Nord, Virginia, Georgia e Flo-

rida dovettero dichiarare lo stato di emergenza.

### Attore d'attacco

Gli attacchi ransomware, che utilizzano modelli di doppia estorsione, hanno un forte impatto sia sull'infrastruttura IT che sulle reti OT (Operation Technologies, sistemi che gestiscono processi industriali). Gli attacchi ransomware devono il loro successo a molti fattori diversi:

- la diffusione del modello Ransomware-as-a-Service (RaaS), che non richiede forti conoscenze tecniche per produrre un attacco devastante;
- la sostanziale impunità di numerosi attori criminali, che operano in paesi i cui governi non perseguono i crimini informatici commessi contro nazioni straniere;
- l'utilizzo della criptovaluta, che rende difficile il sequestro dei riscatti una volta pagati;
- la diffusa attitudine al pagamento di riscatti da parte delle Aziende che si ritrovano intrappolate in modelli di doppia estorsione (blocco dell'accesso ai dati, crittografati, e minaccia di divulgazione dei dati stessi su Internet);
- l'esistenza di assicurazioni che coprono le perdite in caso di attacchi ransomware;
- il continuo aumento degli importi pagati come riscatto, aumentati nella metà del





2020 fino a una media di \$ 338.669, che rende RaaS un business molto redditizio.

L'attacco alle infrastrutture Colonial è stato rivendicato da DarkSide. DarkSide è un gruppo di hacker probabilmente russo, emerso nel 2020, e che nel corso del 2021 è stato molto attivo nel settore del ransomware: oltre a quello contro Colonial ricordiamo ad esempio l'attacco contro Toshiba Tec Corp dello stesso anno. Possibili collegamenti con il governo russo sono stati suggeriti ma non dimostrati. Il gruppo propone il ransomware as a service (RaaS) come modello operativo. Si ritiene che recluti sviluppatori sul dark web.

In un'analisi di Unit 42 di Palo Alto Networks, DarkSide è considerato uno sviluppatore di ransomware di fascia relativamente alta. Tende a scegliere attentamente le loro potenziali vittime e a progettare campagne con una preliminare raccolta di informazioni per causare i maggiori disagi e quindi ottenere riscatti più redditizi. L'analisi forense post-attacco ha rilevato impronte di attività riconducibili a DarkSide in una serie di obiettivi di alto valore. Il gruppo ha rivendicato l'attacco a Colonial Pipeline che, per tipologia, si adatta piuttosto bene al tipico profilo delle vittime.

DarkSide è noto per le tecniche aggressive e per l'attitudine a porre pressione sulle vittime, anche a livello individuale, affinché paghino il riscatto. A pochi giorni dall'attacco, è stato riscontrato che il gruppo ha iniziato a inviare e-mail minacciose ai dipendenti e a chiamare i dirigenti sui loro telefoni cellulari personali.

Ad oggi DarkSide ha dichiarato di aver chiuso le proprie attività; è tuttavia assai probabile che lo stesso gruppo continui ad operare con nomi diversi.

### **Indagini sugli attacchi**

L'impatto dell'attacco ransomware a Colonial è stato di grande rilevanza e ha portato ad indagini, anche a livello governativo, che si sono protratte nel tempo, coinvolgendo i dirigenti Colonial.

L'attacco a Colonial è stato investigato ed analizzato da strutture private, chiamate a fornire aiuto nella gestione dell'emergenza, e da commissioni pubbliche che successivamente hanno esaminato l'accaduto.

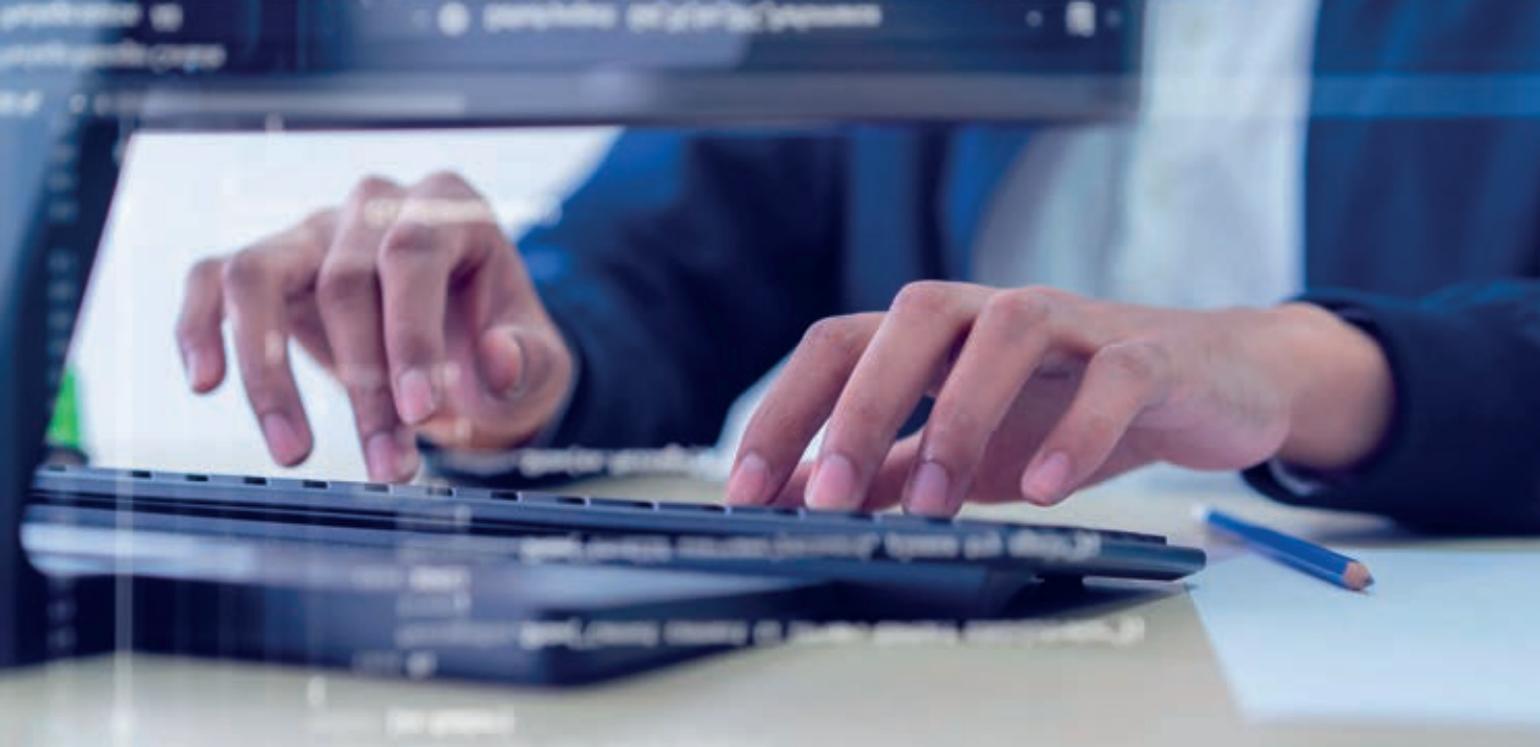
In conseguenza dell'attacco l'8 giugno 2021 Joseph Blount, Presidente e CEO della Colonial Pipeline Company, rese testimonianza in udienza davanti alla Commissione per la sicurezza interna e gli affari governativi del Senato degli Stati Uniti, descrivendo la cronologia dell'attacco e le misure adottate per garantire la sicurezza dell'infrastruttura durante il processo di ripristino

### **Reazioni e commenti**

#### **Incidenti precedenti**

Gli aggressori hanno preso di mira per anni le ONG Company (Oil and Natural Gas Company) e i fornitori terzi coinvolti nel processo di perforazione e distribuzione (upstream, midstream e downstream). L'attacco contro Colonial Pipeline non è particolarmente nuovo. Tuttavia, la più grande differenziazione è l'effetto di questo attacco e le implicazioni che abbiamo già visto in precedenza.

Energy Services Group (ESG) funge da Electronic Data Interchange (EDI) per le aziende che desiderano acquistare e fornire servizi e, in particolare, per il trasporto e la distribuzione di gas naturale. Nel 2018, questi servizi sono stati colpiti direttamente da un incidente malware, che ne compromise parzialmente l'operatività.



Nel 2019, la Guardia Costiera degli Stati Uniti pubblicò un rapporto su un impianto di compressione di gas naturale che aveva subito un attacco dal ransomware Ryuk sulle proprie reti IT e OT. Durante l'incidente si verificò una perdita di visibilità e di disponibilità dei dispositivi OT. Secondo CISA, le interfacce di controllo (HMI), lo storico dei dati e i server dati, basati su sistemi operativi Microsoft Windows, vennero attaccati. L'interruzione durò 30 ore durante le quali l'azienda sostituì i sistemi i cui dati erano stati crittografati.

Gli incidenti discussi sopra sono esempi di casi in cui ONG vengono colpite da attacchi informatici che potrebbero non essere stati specificamente destinati a colpire OT. Questi eventi propongono un parallelismo con l'attacco al Colonial Pipeline e servono a evidenziare quanto grave fosse l'attacco.

Uno degli elementi di fragilità da considerare è la convergenza tra reti OT ed IT. Attorno al 2000 reti OT (Operation Technologies, reti di controllo industriale) e reti IT connesse ad Internet hanno iniziato a sovrapporsi e a scambiarsi dati, con il risultato che l'IT è diventato un luogo principale per attaccare le reti OT strutturalmente indifese. "Una lacuna comune nel settore degli oleodotti è la mancanza di segmentazione delle reti SCADA (controllo di supervisione e acquisizione dati) delle condutture, vale a dire le reti che collegano il centro di controllo delle condutture a ogni terminale, stazione di pompaggio, valvola di isolamento remoto e parco serbatoi lungo il gasdotto. Si tratta di reti molto grandi che coprono distanze estese ma sono tipicamente 'piatte', dal punto di vista della segmentazione della rete" (John Cusimano, Vicepresidente, aeCyberSolutions).

"In teoria, per ridurre al minimo la superficie di

attacco, queste reti dovrebbero essere rigorosamente delimitate fisicamente e segmentate logicamente. Questo concetto di architettura implica che le reti OT e IT siano autosufficienti. Questa è una fantasia. La difficile realtà da affrontare è che IT e OT sono convergenti".

Gli attacchi ransomware trovano terreno fertile nella mancanza di normative e audit obbligatori di alcuni specifici settori industriali. Al momento dell'attacco questa era la situazione delle strutture ONG (Oil and Natural Gas), che non erano sottoposte a tali misure di protezione.

La mancanza di procedure definite per la valutazione della sicurezza, in una parola la mancanza di Governance intesa come approccio sistematico per ridurre i rischi di sicurezza, ha prodotto risultati di grande rilevanza.

#### **I livelli di sicurezza di Colonial**

Sui livelli di sicurezza IT adottati da Colonial sono stati sollevati diversi dubbi, prevalentemente a seguito di un audit tenuto in anni precedenti l'incidente. Non è tuttavia chiaro quali fossero le politiche di sicurezza adottate dalla compagnia alla data di Maggio 2021.

"Un audit esterno eseguito tre anni (...) ha rilevato pratiche di gestione delle informazioni 'atroci' e un mosaico di sistemi scarsamente connessi e protetti" ha dichiarato Robert F. Smallwood, la cui società di consulenza ha consegnato un rapporto di 89 pagine nel gennaio 2018 dopo un audit di sei mesi, all'Associated Press. "Abbiamo riscontrato evidenti carenze e grossi problemi" ha affermato "Voglio dire, un bambino di terza media avrebbe potuto hackerare quel sistema".

"Non è chiaro fino a che punto Colonial Pipeline si sia spinta nell'affrontare le vulnerabilità. Colonial ha dichiarato che dal 2017 ha assunto



quattro società indipendenti per le valutazioni del rischio di sicurezza informatica ed ha aumentato la spesa IT complessiva di oltre il 50%. Pur non specificando l'importo, ha affermato di aver speso decine di milioni di dollari".

### Conseguenze

A seguito dei disagi di rilevanza nazionale conseguenti all'interruzione delle forniture di carburante nella gran parte degli Stati della costa orientale, il 12 maggio 2021 il Presidente degli Stati Uniti Joe Biden emise un "Ordine esecutivo sul miglioramento della sicurezza informatica della nazione" (EO).

I punti chiave dell'ordine esecutivo erano:

- Rimuovere le barriere alla condivisione delle informazioni sulle minacce tra governo e settore privato.
  - L'EO garantisce che i fornitori di servizi IT siano in grado di condividere informazioni con il governo e richiede loro di condividere determinate informazioni sulle violazioni.
- Modernizzare e implementare standard di sicurezza informatica più rigorosi nel governo federale.
  - L'EO spinge il governo federale a proteggere i servizi cloud ed architetture zero-trust, impone l'implementazione dell'autenticazione multifattoriale e della crittografia entro un periodo di tempo specifico.
- Migliorare la sicurezza della catena di fornitura del software.
  - L'EO mira a migliorare la sicurezza del software, stabilendo standard di sicurezza di base per lo sviluppo del software venduto al governo, inclusa la richiesta agli sviluppatori di mantenere una maggiore visibilità sul proprio software, rendendo i dati sulla sicurezza pubblicamente disponibili.
  - Crea, inoltre, un programma pilota per creare un tipo di etichetta "energy star" in modo che il governo – e il pubblico in generale – possano determinare



- rapidamente se il software è stato sviluppato in modo sicuro.
- Istituire un comitato di revisione della sicurezza informatica.
  - L'EO istituisce un comitato di revisione della sicurezza informatica, co-presieduto da esponenti del governo e del settore privato, con l'autorità di riunirsi a seguito di un incidente informatico significativo per analizzare ciò che è accaduto e formulare raccomandazioni concrete per migliorare la sicurezza informatica. Questo comitato viene modellato sul National Transportation Safety Board, che viene utilizzata dopo incidenti aerei.
- Creare un playbook standardizzato per rispondere alle vulnerabilità e agli incidenti della sicurezza informatica.
  - L'EO crea un manuale standardizzato per la risposta agli incidenti di vulnerabilità informatica da parte dei dipartimenti e delle agenzie federali. Il
- playbook garantirà che tutte le agenzie federali raggiungano un determinato livello e siano pronte ad adottare misure uniformi per identificare e mitigare una minaccia e fungere da modello per il settore privato da utilizzare nel coordinare gli sforzi di risposta.
- Migliorare il rilevamento degli incidenti di sicurezza informatica sulle reti del governo federale.
  - L'EO migliora la capacità di rilevare attività informatiche dannose sulle reti federali consentendo un sistema EDR (Endpoint Detection and Response) a livello governativo e una migliore condivisione delle informazioni all'interno del governo federale.
- Migliorare le capacità investigative e di riparazione.
  - L'EO stabilisce i requisiti per il log degli eventi di sicurezza informatica di dipartimenti e agenzie federali allo scopo di migliorare la capacità di

un'organizzazione di rilevare le intrusioni, mitigare quelle in corso e determinare l'entità di un incidente dopo che si è verificato.

### Lezione appresa

Per quanto importanti possano essere i punti prescritti nell'EO presidenziale, non possiamo dimenticare che l'attacco iniziale è stato effettuato su un account VPN ad autenticazione monofattoriale e chiaramente dimenticato, la cui password, di per sé complessa da decifrare, aveva già fatto la sua comparsa nei siti di Data-Breach del Dark Web.

Nella rivista Cyber Defense Review, nell'articolo "Cybersecurity's Pearl Harbor Moment: Lessons Learned from the Colonial Pipeline Ransomware Attack" l'On. Joe R. Reeder e il Cadetto Tommy Hall indicano quali sono le lezioni di base da apprendere da questo incidente:

"Inizia con l'adesione ai fondamenti della sicurezza informatica.

Sebbene non esistano soluzioni miracolose contro il ransomware, esistono tre basi fondamentali per la sicurezza informatica, le regole che vanno sempre seguite:

1. richiedere l'autenticazione a due o più fattori (2FA);
2. integrare la segmentazione nei sistemi informatici;
3. aderire alle pratiche standard di settore del "patch-Tuesday" di routine.

Purtroppo, Colonial Pipeline esemplifica uno dei tanti attacchi evitabili in cui l'organizzazione criminale ha sfruttato la mancanza di garanzie da parte dell'azienda, in particolare 2FA".

L'articolo cita le "Best Practices" e le regole di governance di base non applicate: l'attacco è avvenuto attraverso un account non soggetto a 2FA e che era stato in qualche modo "dimenticato". Una revisione sistematica degli account utente si sarebbe rivelata utile.

L'accesso è avvenuto sfruttando una password che era stata utilizzata su più siti. Solitamente le policy di sicurezza informatica vietano questa pratica, per il rischio che un data-breach possa dare accesso a tutte le strutture su cui è registrato l'account.

DarkSide è risultata inoltre fare un ampio uso di PowerShell. Le procedure di hardening applicate alle postazioni aziendali prescrivono solitamente di disabilitare l'accesso a PowerShell agli account non amministratori.

Tornando all'EO presidenziale, questo prescrive, tra gli altri punti, di "creare un manuale standardizzato e una serie di definizioni per la risposta agli incidenti di vulnerabilità informatica da parte dei dipartimenti e delle agenzie federali".

Questo per essere "preparati ad adottare misure uniformi per identificare e mitigare una minaccia e servire da modello per il settore privato da utilizzare nel coordinare gli sforzi di risposta".

La creazione di tale playbook richiede capacità di analisi e rilevamento delle minacce, che alimenteranno le regole di rilevamento automatico e le pratiche del team di risposta agli incidenti al fine di aumentare la velocità di rilevamento e reazione. Serve dunque una sempre crescente capacità di riconoscimento e blocco delle minacce informatiche.

## L'attacco a Colonial in maggior dettaglio

### Descrizione dell'attacco

Sappiamo che gli hacker hanno sfruttato un account VPN non protetto che non era più in uso per ottenere l'accesso alle reti di Colonial Pipeline. Sappiamo che la Colonial Pipeline ha pagato la richiesta di riscatto – e l'FBI da allora ne ha recuperato la maggior parte.

L'attacco è iniziato alle 5 del mattino, quando il malware ha iniziato a diffondersi. Il gruppo IRT Incident Response Team) di Colonial alle 6 del mattino ha preso la decisione di chiudere l'oleodotto.

"Il primo accesso è avvenuto tramite accesso remoto VPN: gli aggressori erano in possesso di credenziali utilizzate su un altro sito. All'interno di Colonial si riteneva che l'account utilizzato non fosse attivo. La password era complessa e non facilmente indovinabile. Era una password che è stata utilizzata in un qualche momento su un altro sito web" (Charles Carmakal - Udienda virtuale del Comitato Mandiant per la Sicurezza Interna). Dopo l'attacco i dirigenti Colonial hanno preso la decisione di pagare il riscatto. Una somma di 75 bitcoin (circa 4 milioni di dollari) è stata pagata da Colonial a DarkSide, il gruppo di hacker responsabile dell'attacco. Gran parte di esso, 63,7 Bitcoin, è stata successivamente recuperata dall'FBI.

### Informazioni su Darkside Group e ransomware

DarkSide è un ransomware-as-a-service (RaaS): gli sviluppatori del ransomware ricevono una quota dei proventi dagli attori criminali informatici che lo distribuiscono, noti come "affiliati".

DarkSide offre il suo RaaS agli affiliati in cambio di una percentuale dei profitti. Il gruppo presenta un ottimo esempio di ransomware moderno, che opera con un modello di business più avanzato. I ransomware moderni identificano obiettivi di alto valore e implicano una monetizzazione più precisa delle risorse compromesse (ad esempio

la doppia estorsione). Anche i moderni attacchi ransomware vengono generalmente sferrati da vari gruppi che collaborano e dividono i profitti. Ecco una breve sequenza temporale dell'attività di DarkSide compilata da rapporti disponibili al pubblico:

- Agosto 2020: DarkSide presenta il suo ransomware.
- Ottobre 2020: DarkSide dona in beneficenza 20.000 dollari rubati alle vittime.
- Novembre 2020: DarkSide stabilisce il suo modello RaaS. Il gruppo invita altri criminali a utilizzare il suo servizio. Successivamente viene scoperto un sito di data leaks gestito da DarkSide.
- Novembre 2020: DarkSide lancia la sua rete di distribuzione dei contenuti (CDN) per l'archiviazione e la distribuzione di dati compromessi.
- Dicembre 2020: un rappresentante di DarkSide invita i media e le organizzazioni di recupero dati a seguire il centro stampa del gruppo.
- Marzo 2021: DarkSide rilascia la versione 2.0 del suo ransomware con diversi aggiornamenti.
- Maggio 2021: DarkSide lancia l'attacco Colonial Pipeline. Dopo l'attacco, Darkside annuncia di essere apolitico e che inizierà a controllare i suoi obiettivi (forse per evitare di attirare l'attenzione su attacchi futuri).

### Scuse

In una dichiarazione pubblicata sul sito web di DarkSide, il gruppo sembra pentirsi di aver provocato l'incidente Colonial; la dichiarazione recita: "Siamo apolitici, non partecipiamo alla geopolitica, non abbiamo bisogno di legarci ad un governo definito e cerchiamo altre nostre motivazioni.

Il nostro obiettivo è fare soldi e non creare problemi alla società.

Da oggi introduciamo la moderazione e controlliamo ciascuna azienda che i nostri partner [clienti] desiderano crittografare per evitare conseguenze sociali in futuro".

Il gruppo proibisce inoltre attacchi contro la Comunità di Stati Indipendenti, che comprende Azerbaigian, Armenia, Bielorussia, Georgia, Kazakistan, Kirghizistan, Moldavia, Russia, Tagikistan, Turkmenistan, Uzbekistan e Ucraina, suggerendo che potrebbero risiedere in uno di questi paesi.

FireEye, che ha anche pubblicato una cronologia dettagliata dei movimenti di DarkSide, ha affermato che gli autori delle minacce sono "diventati più abili nel condurre operazioni di estorsione dalle molteplici sfaccettature", aggiungendo che

questo successo ha "contribuito direttamente al rapido aumento del numero di incidenti ransomware ad alto impatto nel corso degli anni".

Successivamente le notizie da Darkside si fanno meno frequenti, con ogni probabilità a casua di un cambiamento di nome, non di una cessazione di attività. Diversi elementi avevano posto Darkside sotto pressione: non solo l'impatto dell'attacco a Colonial e della derivante notorietà, ma anche alcuni seri errori di implementazione in una versione del modulo di crittografia del ransomware distribuito ai propri affiliati. Questa versione, pubblicata a Dicembre 2020, era risultata vulnerabile al punto che molte vittime non avevano dovuto pagare il riscatto richiesto per recuperare i dati, potendo decrittare autonomamente i dati attaccati. La perdita di guadagno da parte di diversi gruppi criminali affiliati non aveva posto DarkSide in una luce particolarmente buona.

DarkSide ricompare probabilmente come BlackCat, che successivamente prenderà il nome di Alphv, con il quale è al momento noto uno dei gruppi criminali più attivi nel settore del ransomware.

### Accesso iniziale

Phishing, sfruttamento dell'RDP e sfruttamento delle vulnerabilità sono le tattiche utilizzate dal gruppo. È da considerare che non è detto che il gruppo stesso sappia come siano state originariamente violate le credenziali della vittima.

TrendMicro segnala i seguenti strumenti utilizzati dagli affiliati DarkSide:

- PowerShell: per ricognizione e persistenza;
- Metasploit Framework: per ricognizione;
- Mimikatz: per ricognizione;
- BloodHound: per ricognizione;
- Cobalt Strike: per installazione.

### Movimento laterale e privilege escalation

"Nel caso di DarkSide, abbiamo confermato i rapporti secondo cui l'obiettivo del movimento laterale è ottenere l'accesso al Domain Controller (DC) o ad Active Directory, che verrà utilizzato per rubare credenziali, aumentare i privilegi e acquisire altre risorse preziose per l'esfiltrazione dei dati. Il gruppo continua quindi il suo movimento laterale attraverso il sistema, utilizzando infine le condivisioni di rete per distribuire il ransomware alle macchine connesse. Alcuni dei metodi di movimento laterale conosciuti implementati da DarkSide utilizzano PSEXEC e RDP. Ma come abbiamo notato in precedenza, un moderno gruppo ransomware si comporta con metodi più comunemente associati ai gruppi APT: adatta i propri strumenti e metodi alle difese della rete della vittima".

### Esfiltrazione

"Per l'esfiltrazione, abbiamo visto utilizzati i seguenti strumenti:

- 7-Zip: un'utilità utilizzata per l'archiviazione di file in preparazione all'esfiltrazione;
- Rclone e Mega client: strumenti utilizzati per estrarre file nell'archivio cloud;
- PuTTY: un'applicazione alternativa utilizzata per il trasferimento di file in rete.

Successivamente avviene l'esecuzione del ransomware vero e proprio. Il ransomware DarkSide condivide molte somiglianze con REvil in questa fase del processo, inclusa la struttura delle richieste di riscatto e l'uso di PowerShell per eseguire un comando che elimina le shadow copies dalla rete. Utilizza lo stesso codice anche per verificare che la vittima non si trovi in un paese della Comunità di Stati Indipendenti (CSI).

Secondo quanto riferito, il gruppo oltre a PowerShell, utilizzato per installare e gestire il malware stesso, si avvale di Certutil e Bitsadmin per scaricare il ransomware. Utilizza due metodi di crittografia, a seconda che il sistema operativo

di destinazione sia Windows o Linux: su Linux viene utilizzato un cifrario a flusso ChaCha20 con RSA-4096 e su Windows viene utilizzato Salsa20 con RSA-1024.

L'utilizzo di CertUtil non è una novità; progettato per gestire i certificati in ambiente Windows, Certutil potrebbe riuscire a scaricare file dove altri programmi potrebbero essere bloccati dai sistemi operativi. Questo è noto almeno dal 2017, la Figura 3 mostra un esempio di richiesta di riscatto da DarkSide.

È interessante notare che la richiesta di riscatto di DarkSide è simile a quella di Babuk, il che potrebbe indicare che queste due famiglie condividano un legame."

Babuk finge di essere in qualche modo un criminale informatico "etico", non attaccando ospedali, organizzazioni no-profit, scuole e piccole imprese. Mandiant tiene traccia di diversi gruppi le cui attività possono essere ricondotte a DarkSide.

### IoC connessi alle attività di DarkSide

Gli attaccanti si affidano a strumenti pubblici e le-

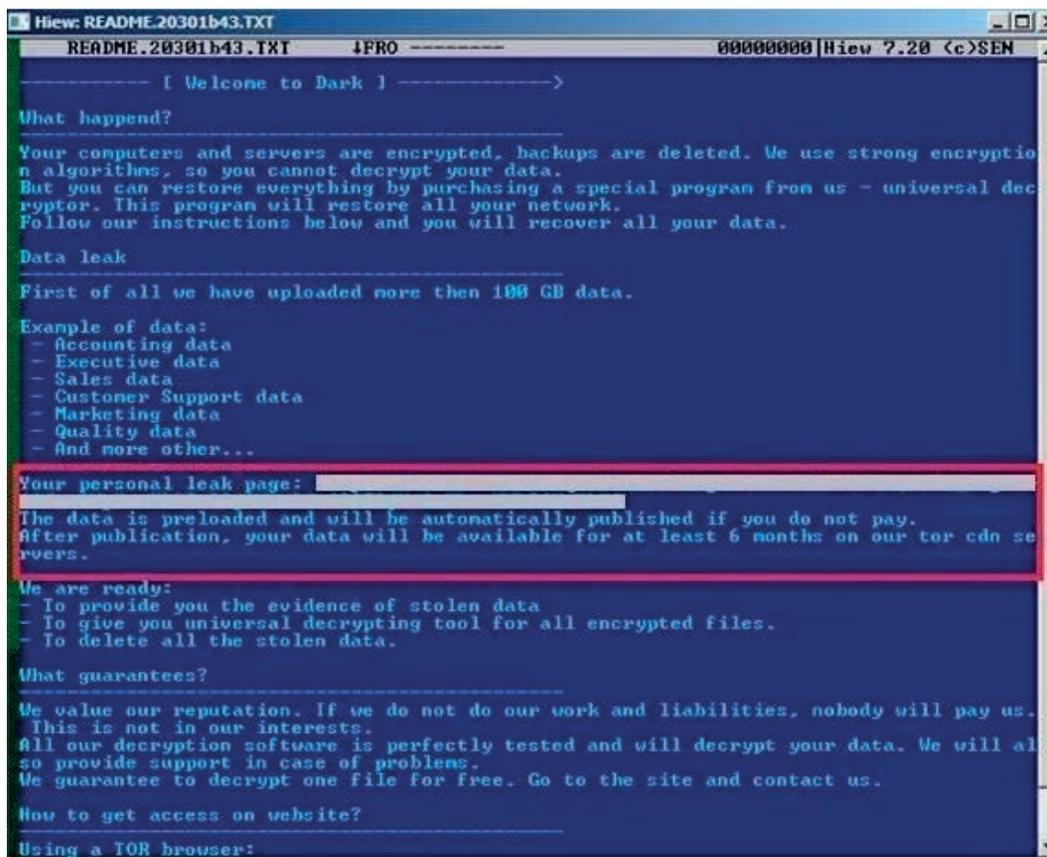


Figura 3 - Comunicazione della richiesta di riscatto da parte del gruppo DarkSide.

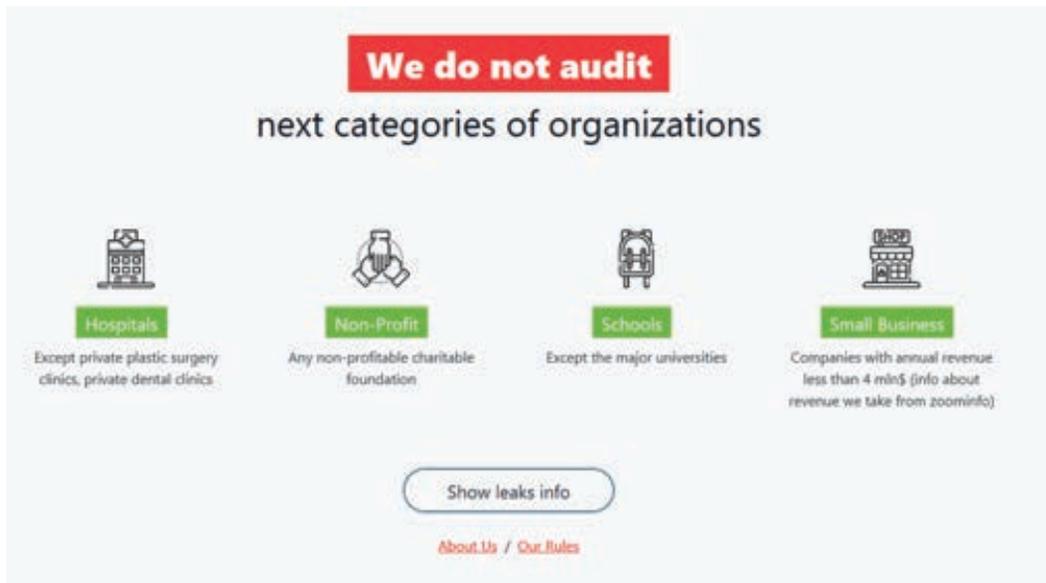


Figura 4 – Babuk Sito Web su Darkweb.

gittimi per sviluppare le diverse fasi dell'attacco. Alcuni di essi sono riportati nella Figura 5. L'attribuzione e la descrizione dei gruppi provengono dalla pagina web Mandiant.

**UNC2628**

Attivo da febbraio 2021. Avanzamento intrusivo: veloce, due tre giorni. Connesso all'utilizzo

di altri ransomware (REvil, Netwalker). Accesso tramite credenziali legittime degli account VPN esistenti.

Strumenti utilizzati: Cobalt Strike (payload BEACON), Mimikatz, comandi 'net' per la ricognizione, C3 Framework di F-Secure Lab. Esfiltrazione su SFTP utilizzando Rclone, Psexec era abituato a distribuire DarkSide.

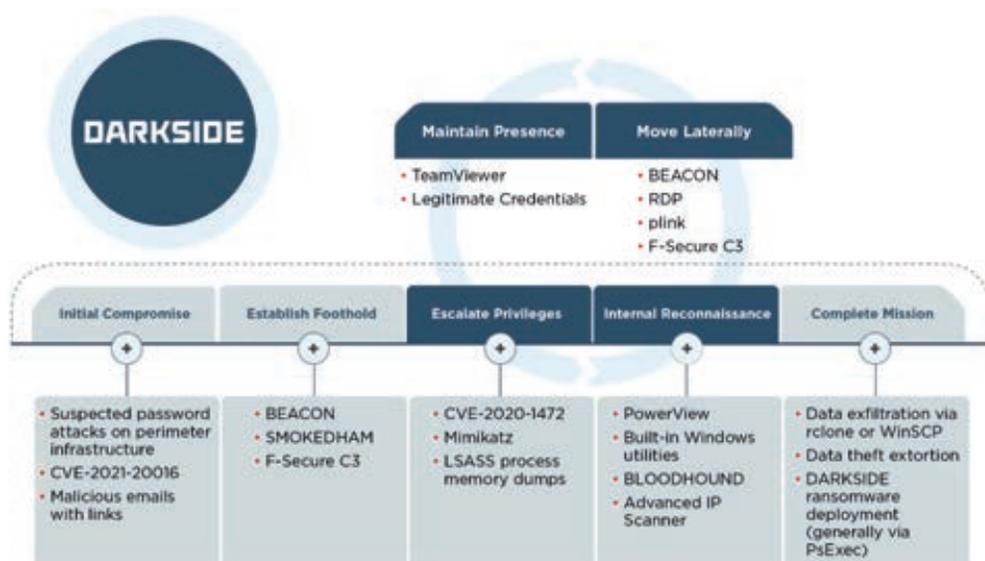


Figura 5 - TTP relativo all'attività di Darkside (fonte Mandiant).

### UNC2659

Attivo almeno da gennaio 2021: Avanzamento intrusione: meno di 10 giorni. Utilizzo dell'exploit su SonicWall SMA100 SSL VPN. Accesso iniziale ottenuto sfruttando CVE 2021-20016.

Strumenti utilizzati: Persistenza tramite TeamViewer, rclone per esfiltrazione dati tp Pcloud storage su protocollo SMB, power encryptor, utilizzo ov Interfaccia di amministrazione ESXi per disabilitare gli snapshot prima della crittografia del ransomware.

### UNC2465

Attivo almeno da aprile 2019: progresso dell'intrusione: diversi mesi con attività sporadica, forse a causa dell'intrusione effettuata da un attore separato.

Strumenti utilizzati: DropBox o Google Drive come repository per scaricare malware tramite downloader LNK; PsExec per implementare la crittografia DarkSide, backdoor SMOKEDHAM; Bloodhound per il riconoscimento, NGROK per aggirare il firewall ed esporre RDP e WinRM su Internet.

#### DarkSide Ransomware: best practices per prevenire interruzioni aziendali dovute ad attacchi ransomware

CISA affronta le migliori pratiche da prendere in considerazione nella gestione del riscatto di DarkSide.

Le seguenti mitigazioni sono estratte dalla pagina CISA:

#### Mitigazioni

CISA e FBI sollecitano i proprietari e gli operatori di CI ad applicare le seguenti mitigazioni per ridurre il rischio di compromissione da attacchi ransomware.

- Richiedere l'autenticazione a più fattori.
- Abilitare filtri antispam per impedire che le e-mail di phishing raggiungano gli utenti finali.
- Implementare un programma di formazione degli utenti e simulare attacchi di spear-phishing per scoraggiare gli utenti dal visitare siti Web dannosi.
- Filtrare il traffico di rete per impedire le comunicazioni in entrata e in uscita con indirizzi IP dannosi noti.
- Aggiornare il software.
- Limitare l'accesso alle risorse sulle reti, in particolare limitando l'RDP.
- Impostare programmi antivirus/antimalware.
- Implementare la prevenzione dell'esecuzione non autorizzata:
  - o Disabilitare gli script macro da Microsoft Office.

- o L'applicazione di implementazione consente l'elenco.

- Monitorare e/o bloccare le connessioni in entrata dai nodi di uscita Tor e altri servizi di anonimizzazione verso indirizzi IP e porte per le quali non sono previste connessioni esterne. Distribuire firme per rilevare e/o bloccare la connessione in entrata dai server Cobalt Strike e altri strumenti di post sfruttamento.

Mitigazioni per ridurre il rischio di grave degrado aziendale o funzionale in caso di attacco ransomware in futuro.

- Implementare e garantire una solida segmentazione della rete tra reti IT e OT.
- Organizzare le risorse OT in zone logiche tenendo conto della criticità, delle conseguenze e delle necessità operative.
- Identificare le interdipendenze delle reti OT e IT e sviluppare soluzioni alternative o controlli manuali per garantire che le reti ICS possano essere isolate se le connessioni creano rischi per il funzionamento sicuro e affidabile dei processi OT.
- Testare regolarmente i controlli manuali in modo che le funzioni critiche possano essere mantenute in esecuzione se le reti ICS o OT devono essere messe offline.
- Implementare procedure regolari di backup dei dati.
- Assicurarsi che i backup vengano testati regolarmente.
- Archiviare i backup separatamente. I backup devono essere isolati dalle connessioni di rete.
- Mantenere regolarmente aggiornate le immagini dei sistemi critici nel caso in cui debbano essere ricostruiti.
- Conservare l'hardware di backup per ricostruire i sistemi nel caso in cui la ricostruzione del sistema primario non sia preferibile.
- Conservare un archivio del codice sorgente o degli eseguibili.
- Garantire che gli account utente e di processo siano limitati tramite policy di utilizzo dell'account, controllo dell'account utente e gestione degli account privilegiati.

Se l'organizzazione è colpita da un incidente ransomware, CISA e FBI consigliano le seguenti azioni:

- Isolare il sistema infetto.
- Spegnerne altri computer e dispositivi.
- Proteggere i backup.

Nota: la CISA e l'FBI non incoraggiano il pagamento di un riscatto ad attori criminali. Il pagamento di un riscatto può incoraggiare gli avversari a prendere di mira ulteriori organizzazioni,



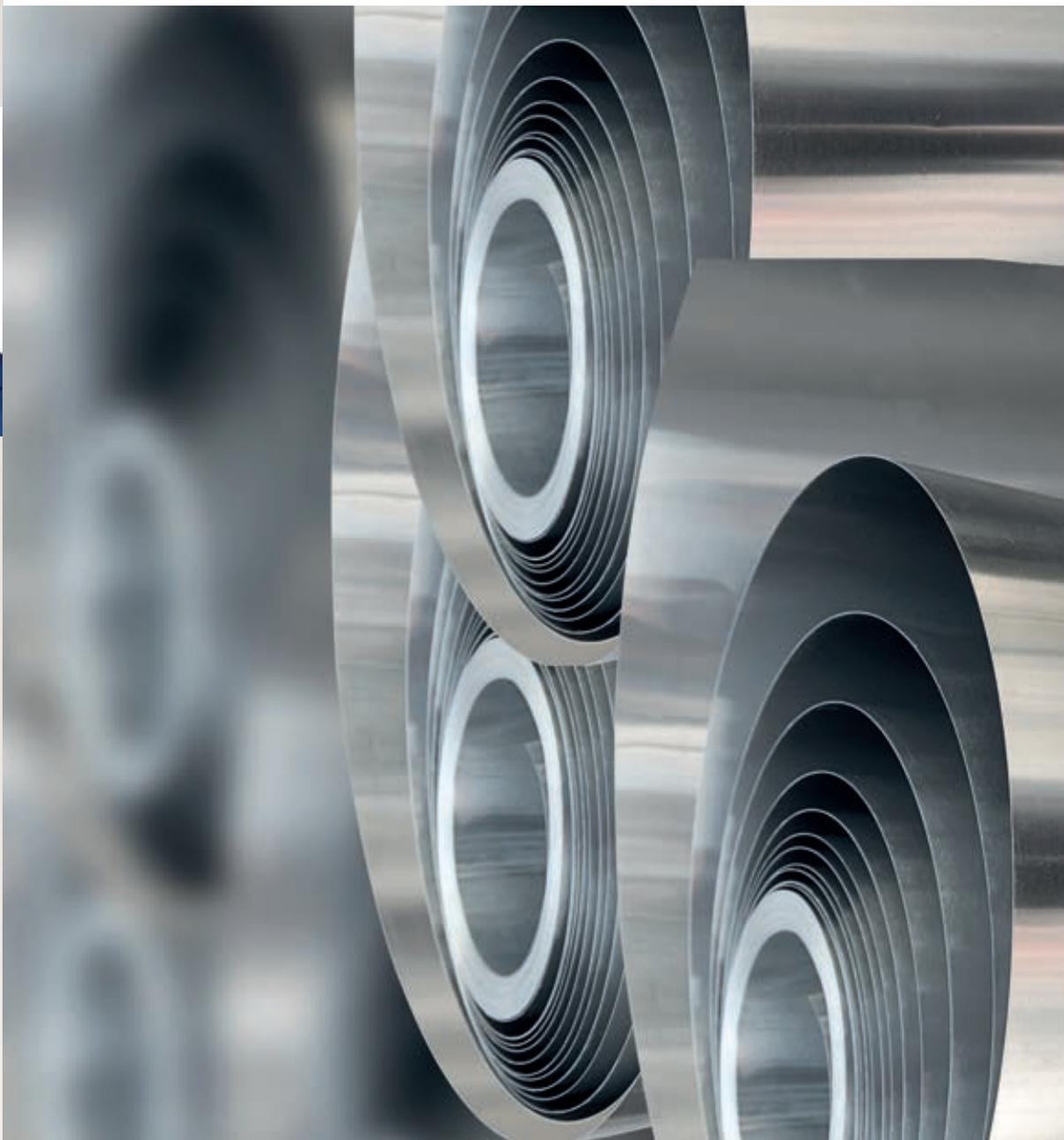
incoraggiare altri attori criminali a impegnarsi nella distribuzione di ransomware e/o finanziare attività illecite. Inoltre, il pagamento del riscatto non garantisce che i file della vittima verranno recuperati. CISA e FBI esortano a segnalare gli incidenti di ransomware all'ufficio locale dell'FBI. CISA offre una gamma di servizi di "igiene informatica" gratuiti per aiutare le organizzazioni CI

a valutare, identificare e ridurre la propria esposizione alle minacce, incluso il ransomware. Richiedendo questi servizi, le organizzazioni di qualsiasi dimensione potrebbero trovare modi per ridurre i rischi e mitigare i vettori di attacco. Alle linee guida pubblicate da CISA aggiungiamo un interessante white paper pubblicato da Mandiant sul contenimento del ransomware.



## Bibliografia

- Wikipedia, «Colonial Pipeline,» [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Colonial\\_Pipeline](https://en.wikipedia.org/wiki/Colonial_Pipeline).
- N. C. a. D. E. S. Clifford Krauss, «Gas Pipeline Hack Leads to Panic Buying in the Southeast,» 12 May 2021. [Online]. Available: <https://www.nytimes.com/2021/05/11/business/colonial-pipeline-shutdown-la-test-news.html>.
- Institute for Security and Technology, «Combating Ransomware - A Comprehensive Framework for Action,» 30 April 2021. [Online]. Available: <https://securityandtechnology.org/wp-content/uploads/2021/04/IST-Ransomware-Task-Force-Report.pdf>.
- M. Y. Benoit Van Overstraeten, «Toshiba unit hacked by DarkSide, conglomerate to undergo strategic review,» 14 May 2021. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/toshiba-european-business-hit-by-cyberattack-source-2021-05-14/>.
- U. 42, «Darkside Ransomware,» [Online]. Available: <https://unit42.paloaltonetworks.com/atoms/darkside-ransomware/>.
- «Darkside Ransomware Analysis Report,» [Online]. Available: <https://branddefense.io/darkside-ransomware-analysis-report/>.
- H. InfoSecurity, «Ransomware: Alphv/BlackCat Is DarkSide/BlackMatter Reboot,» 7 February 2022. [Online]. Available: <https://www.healthcareinfosecurity.com/blogs/ransomware-alphvblackcat-darksideblackmatter-reboot-p-3177>.
- «HEARING BEFORE THE UNITED STATES SENATE COMMITTEE ON HOMELAND SECURITY & GOVERNMENTAL AFFAIRS,» 8 June 2021. [Online]. Available: <https://www.hsgac.senate.gov/imo/media/doc/Testimony-Blount-2021-06-08.pdf>.
- J. Munshaw, "What's past is prologue – A new world of critical infrastructure security," 15 June 2021. [Online]. Available: <https://blog.talosintelligence.com/new-world-after-pipeline-ransomware-ong/>.
- F. Bajak, «Tech audit of Colonial Pipeline found 'glaring' problems,» 13 May 2021. [Online]. Available: <https://apnews.com/article/va-state-wire-technology-business-1f06c091c492c1630471d29a9cf6529d>.
- The White House, "Executive Order on Improving the Nation's Cybersecurity," 12 May 2021. [Online]. Available: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/05/12/executive-order-on-improving-the-nations-cybersecurity/>.
- C. T. H. The Honorable Joe R. Reeder, «Cybersecurity's Pearl Harbor Moment: Lessons Learned from the Colonial Pipeline Ransomware Attack,» Summer 2021. [Online]. Available: [https://cyberdefensereview.army.mil/Portals/6/Documents/2021\\_summer\\_cdr/02\\_ReederHall\\_CDR\\_V6N3\\_2021.pdf](https://cyberdefensereview.army.mil/Portals/6/Documents/2021_summer_cdr/02_ReederHall_CDR_V6N3_2021.pdf).
- «Cyber Threats in the Pipeline: Using Lessons from the Colonial Ransomware Attack to Defend Critical Infrastructure,» 9 June 2021. [Online]. Available: <https://homeland.house.gov/activities/hearings/cyber-threats-in-the-pipeline-using-lessons-from-the-colonial-ransomware-attack-to-defend-critical-infrastructure>.
- CISA, «Alert AA21-131A,» 11 May 2021. [Online]. Available: <https://www.cisa.gov/uscert/ncas/alerts/aa21-131a>.
- Trend Micro Research, «What We Know About the DarkSide Ransomware and the US Pipeline Attack,» 12 May 2021. [Online]. Available: [https://www.trendmicro.com/en\\_no/research/21/e/what-we-know-about-darkside-ransomware-and-the-us-pipeline-attac.html](https://www.trendmicro.com/en_no/research/21/e/what-we-know-about-darkside-ransomware-and-the-us-pipeline-attac.html).
- J. Haworth, «Colonial Pipeline cyber-attack: DarkSide ransomware details emerge as US urges critical infrastructure operators to be vigilant,» 14 May 2021. [Online]. Available: <https://portswigger.net/daily-swig/colonial-pipeline-cyber-attack-darkside-ransomware-details-emerge-as-us-urges-critical-infrastructure-operators>.
- L. Abrams, «Even Darkside doesn't know how the victim was initially breached,» 13 May 2021. [Online]. Available: <https://twitter.com/LawrenceAbrams/status/1392898798796615683>.
- L. Abrams, «CertUtil.exe Could Allow Attackers To Download Malware While Bypassing AV,» 4 April 2018. [Online]. Available: <https://www.bleepingcomputer.com/news/security/certutil.exe-could-allow-attackers-to-download-malware-while-bypassing-av/>.
- Mandiant, «Shining a Light on DARKSIDE Ransomware Operations,» [Online]. Available: <https://www.mandiant.com/resources/blog/shining-a-light-on-darkside-ransomware-operations>.
- Mandiant, «Ransomware Protection and Containment Strategies,» [Online]. Available: <https://www.fireeye.com/content/dam/fireeye-www/current-threats/pdfs/wp-ransomware-protection-and-containment-strategies.pdf>.
- «FACT SHEET: President Signs Executive Order Charting New Course to Improve the Nation's Cybersecurity and Protect Federal Government Networks,» 12 May 2021. [Online]. Available: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/05/12/fact-sheet-president-signs-executive-order-charting-new-course-to-improve-the-nations-cybersecurity-and-protect-federal-government-networks/>.
- T. H. Joe J. Reeder, «Cybersecurity's Pearl Harbor Moment: Lessons Learned from the Colonial Pipeline Ransomware Attack,» 2021. [Online]. Available: [https://cyberdefensereview.army.mil/Portals/6/Documents/2021\\_summer\\_cdr/02\\_ReederHall\\_CDR\\_V6N3\\_2021.pdf?ver=6qlw1l02DXt1A\\_1n5KrL4g%3D%3D](https://cyberdefensereview.army.mil/Portals/6/Documents/2021_summer_cdr/02_ReederHall_CDR_V6N3_2021.pdf?ver=6qlw1l02DXt1A_1n5KrL4g%3D%3D).
- M. Y. Benoit Van Overstraeten, «Toshiba unit hacked by DarkSide, conglomerate to undergo strategic review,» 14 May 2021. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/toshiba-european-business-hit-by-cyberattack-source-2021-05-14/>.



*Autore:*  
Ing. Fabio Scali

*Revisionato da:*  
Ing. Pietro Ladisa  
Ing. Fabio Crescimbeni  
Ing. Francesco Ortolani

*Commissione:*  
Meccanica Industriale

# LAVORAZIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA: I LAMINATI IN ALLUMINIO

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA



i processi di lavorazione meccanica. In questo articolo si tratterà di un processo relativamente nuovo applicato alle leghe di alluminio, anch'esse relativamente giovani.

### Cenni storici (laminazione e alluminio)

Un primo esempio di laminatoio è presente nei disegni, di fine XV secolo, di Leonardo Da Vinci mentre le prime macchine appaiono nel secolo successivo e utilizzate per la laminazione di foglio d'oro e argento. Nel secolo successivo inizia a svilupparsi in Inghilterra, Germania e Belgio la laminazione a caldo dell'acciaio utilizzando laminatoi costituiti da una sola coppia di rulli (Duo); Il concetto del laminatoio a quarto, formato da coppia di rulli di lavoro con coppia di rulli di sostegno, viene introdotto in Svezia nel XVIII secolo. A partire dal secolo successivo e grazie alla rivoluzione industriale, si è avuta una successiva spinta riguardo l'evoluzione tecnologica di controllo e di concetto dei laminatoi. L'alluminio, come metallo, ha una storia relativamente recente perché è raro trovarlo in natura nella sua forma metallica, ma sottoforma di ossidi e perossidi nella Bauxite: una roccia sedimentaria di colore rosso scuro.

Per i primi usi dell'alluminio si deve attendere il 1800 quando si iniziarono a sviluppare i primi processi chimici che hanno permesso l'estrazio-



Figura 1 - Disegno del laminatoio di Leonardo da Vinci

### Sommario

La lavorazione dei metalli rappresenta da sempre una disciplina importante per l'evoluzione tecnologica perché è alla base dei processi e delle tecnologie innovative. Infatti, volendo analizzare quelli che sono i processi di produzione basati su tecnologia avanzata, si riuscirà sempre a trovare un rapporto diretto o indiretto con

ne del metallo anche se, per la loro complessità, non permettevano di ottenere alluminio a prezzi concorrenziali (addirittura superiori all'oro). Fu con lo sviluppo, nel 1887, del processo denominato Bayer, dal suo ideatore Carl Josef Bayer, che si è avuto l'avvio della produzione di alluminio su vasta scala; in tale processo la bauxite viene miscelata con idrossido di sodio ad una temperatura di circa 180° C, grazie alla quale le diverse impurità metalliche non si disciolgono nel bagno idrossido, per cui possono essere filtrate e separate come impurità solide. La soluzione depurata viene fatta solidificare consentendo all'idrossido di alluminio di precipitare sottoforma di un solido bianco che scaldato ad una temperatura di 1050°C permette la separazione in vapore acqueo e allumina che a sua volta è avviata al processo di elettrolisi dal quale si ricava l'alluminio in forma metallica noto come alluminio primario.

**L'Alluminio**

L'alluminio è l'elemento più abbondante sulla terra dopo l'ossigeno e la silice ed è il secondo metallo più utilizzato dopo l'acciaio. Dell'alluminio sono note le sue caratteristiche di leggerezza, buone caratteristiche meccaniche, ottima resistenza alla corrosione, ottima conducibilità termica ed elettrica, ma soprattutto è infinitamente riciclabile.

I campi di impiego sono vasti: dall'utilizzo sotto forma di cavi per il trasporto dell'energia elettrica, a strutture edilizie come facciate o telai di serramenti, componenti strutturali per l'automotive, aeronautica, navigazione, elementi per scambiatori di calore, elementi decorativi per gli imballaggi cosmetici fino ad applicazioni nell'ambito alimentare; l'adattamento ad ogni applicazione è ottenuto gestendo quelli che sono gli elementi di lega al punto di circoscri-

vere specifiche leghe per i rispettivi processi di lavorazione.

Nella figura seguente, è riportato uno schema semplificato relativo alla nomenclatura delle leghe di alluminio dal quale si può vedere come le famiglie di leghe derivano da un elemento di lega caratteristico. A loro volta è possibile inoltre suddividerle in due macro gruppi basati sul trattamento per indurimento:

1. leghe che induriscono solo per deformazione plastica: per queste leghe l'indurimento può essere gestito solo attraverso l'entità della deformazione plastica cui il metallo è sottoposto. Nel caso della laminazione a freddo questo si ricava, per tipologia di lega, dalla percentuale di riduzione cui la lamiera è sottoposta durante il ciclo di lavorazione. Eventuali trattamenti termici intermedi di ricottura totale o parziale possono essere previsti nei cicli di produzione per permettere la successiva lavorabilità o per adattare alle caratteristiche meccaniche richieste per il prodotto finale;
2. leghe che induriscono per trattamento termico: si tratta di leghe che, come per l'acciaio, possono essere sottoposte a trattamento termico di tempra.

I vari elementi di lega sono aggiunti nelle percentuali desiderate durante il processo di fusione, che per le leghe di alluminio avviene a circa 700°C; il processo inverso di riduzione degli elementi di lega nell'alluminio, affinazione, è possibile attraverso il processo di elettrolisi durante il quale gli elementi tendono a depositarsi sul catodo riducendo quindi la percentuali degli stessi all'interno del bagno di fusione. Attraverso questo processo è quindi possibile tendere nuovamente all'alluminio puro che potrà essere nuovamente messo in circolo per il suo utilizzo

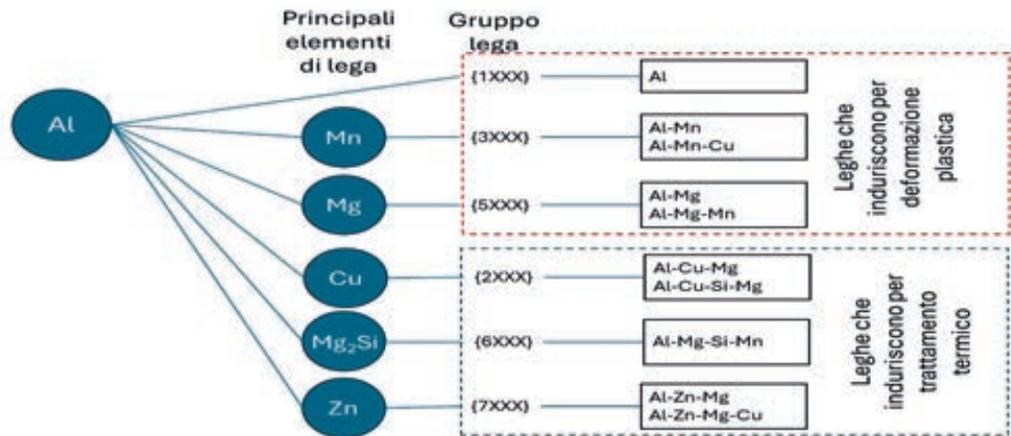


Figura 2 - Nomenclatura delle leghe di alluminio

come metallo tal quale, per esempio in applicazioni elettroniche, oppure come correttivo di ulteriori leghe senza che le sue caratteristiche varino nelle successive fasi di riciclo.

### Produzione dei laminati di alluminio: la fonderia

Il metallo proveniente dal processo di rifusione primario "smelter", spesso allo stato solido e solo in pochi casi allo stato liquido, è avviato al processo di rifusione secondario ove vengono utilizzati i rottami di alluminio proveniente dai processi di recupero degli scarti interni di produzione (pre-consumer) e/o dal recupero dei prodotti a fine vita (post-consumer). La carica è effettuata utilizzando scarti aventi leghe compatibili con la tipologia di lega che deve essere ottenuta e, durante le diverse fasi di carica, viene effettuato il controllo della percentuale assoluta di alluminio, e dei relativi elementi di lega, prelevando dal metallo fuso in forno più provini che, una volta solidificati, saranno avviati ad analisi gas cromatografica; in caso di anomalie è possibile operare dei

correttivi provvedendo all'aggiunta di alluminio primario o degli elementi di lega mancanti. Da notare che risultano molto importanti i processi di differenziazione delle diverse tipologie di leghe, nonché la loro corretta identificazione nelle zone di stoccaggio al fine di evitare errori che potrebbero compromettere il raggiungimento della tipologia di lega prevista.

Il metallo in forno viene poi affinato per eliminare elementi estranei, soprattutto ossidi, prima del successivo passaggio che è funzione del processo a valle che dovrà essere alimentato:

- laminazione a caldo: in questo caso il prodotto finale consiste in bramme, barre a sezione rettangolare, che possono avere lunghezze fino a 8 m, larghezza fino a 2 m e altezza fino a 0,6 m. Le dimensioni sono dettate dalle dimensioni dei laminatoi a valle e, in parte, dalle specifiche del cliente. Il processo di colata semicontinua prevede che l'alluminio, allo stato fuso, venga versato in un bacino formato da matrice a



Figura 3 - Bramme di alluminio per il processo di laminazione a caldo

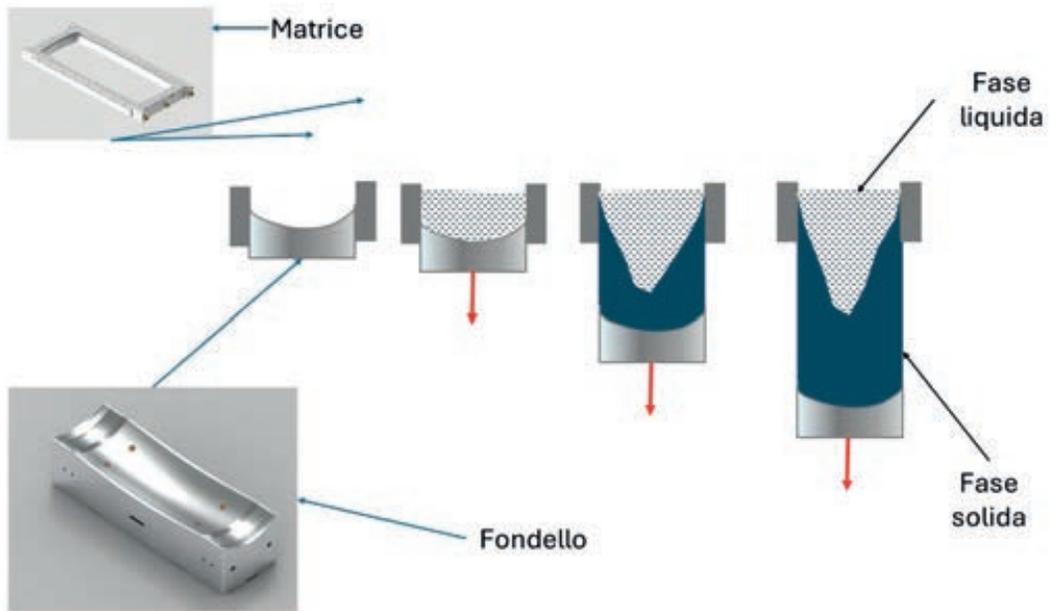


Figura 4 - formazione della bramma

- sezione rettangolare raffreddata ad acqua chiusa in basso da un componente mobile detto "fondello". L'alluminio fuso, a contatto con le superfici refrigerate inizierà a solidificare e, a questo punto, il fondello inizierà ad abbassarsi lentamente mentre il nuovo metallo liquido raggiunge la matrice alimentando la formazione della bramma;
- colata continua (Twin Roll Caster): il metallo allo stato fuso è avviato tra due rulli orizzontali, con superficie ad alta conducibilità termica e raffreddati ad acqua, attraverso un ugello "distributore". Al contatto con i rulli, il metallo si solidifica velocemente e avvolto

sottoforma di rotolo (spessore finale tra i 1,5 e 5 mm);

- colata continua (Twin Belt Caster): in questo caso il metallo fuso è fatto passare attraverso due sottili nastri in acciaio motorizzati. I nastri sono da un lato a contatto con il metallo fuso mentre dall'altro lato è a contatto con l'acqua di raffreddamento. Il metallo solidificato lascia questa fase ad una temperatura superiore ai 400°C e viene subito laminato a caldo, con un treno di laminazione solitamente costituito da due gabbie di tipo a quarto, ad uno spessore variabile tra i 2 e i 5 mm.

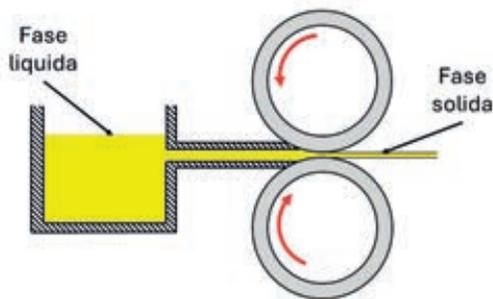


Figura 5 - Twin rolla caster

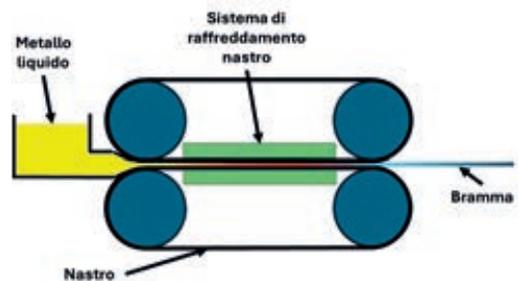


Figura 6 - Twin belt caster

## La laminazione a caldo

Il processo convenzionale di laminazione consiste in un primo step a caldo della bramma, ottenuta in fonderia, preceduta da una prima fase di condizionamento che prevede una rimozione della parte corticale, previa fresatura della superficie superiore e inferiore che, a seguito del veloce raffreddamento in fase di colata, non è in grado di garantire gli aspetti qualitativi di superficie e/o integrità del materiale finale. Questa fase preparatoria è effettuata utilizzando fresatrici ad asse verticale con due frese, di diametro superiore alla larghezza della bramma, che lavorano contemporaneamente le due superfici della bramma. Successivamente la bramma viene preriscaldata in forni a tunnel o a pozzo a temperature tra i 300°C e i 500°C al fine di ridurre gli sforzi necessari per ridurre il lingotto da uno spessore di 600 mm allo spessore finale richiesto. Da notare che questa fase di preriscaldamento potrebbe prevedere anche un tempo di stazionamento necessario per permettere la corretta diffusione degli elementi di lega che

non avviene riesce ad avvenire in fase di solidificazione a seguito del rapido raffreddamento imposto nella fase di produzione in fonderia. Il passaggio dello spessore iniziale a quello finale, compreso tra i 5 e gli 8 millimetri avviene in step successivi.

I laminatoi possono essere:

1. a gabbia singola reversibile normalmente di tipo "Quarto": la bramma attraversa la gabbia in senso alternato scorrendo sulle vie a rulli poste in entrata e in uscita dalla gabbia, fino al raggiungimento dello spessore di fine sbozzatura, compreso tra 5 e 8 mm, quando potrà essere avvolto sull'aspo posto in uscita dalla macchina;
2. a più gabbie tipo "Tandem" formato da una prima gabbia di tipo reversibile, seguita da una serie di gabbie singole: in questo caso la bramma, subito una prima riduzione alla gabbia reversibile, viene inviata alla serie di gabbie singole ove subisce una serie successiva di riduzioni fino allo spessore finale previsto e avvolto sull'aspo avvolgitore posto in uscita.

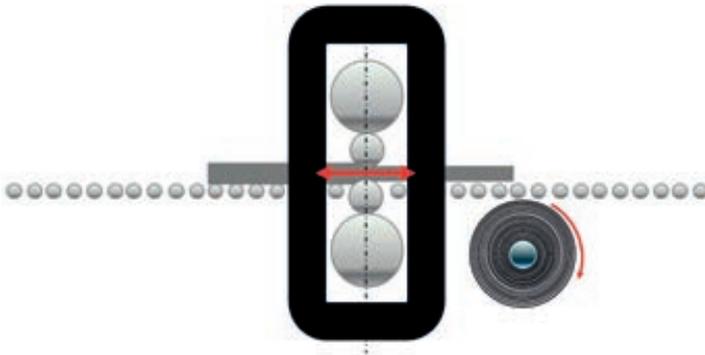


Figura 7 - gabbia laminatoi quarto reversibile

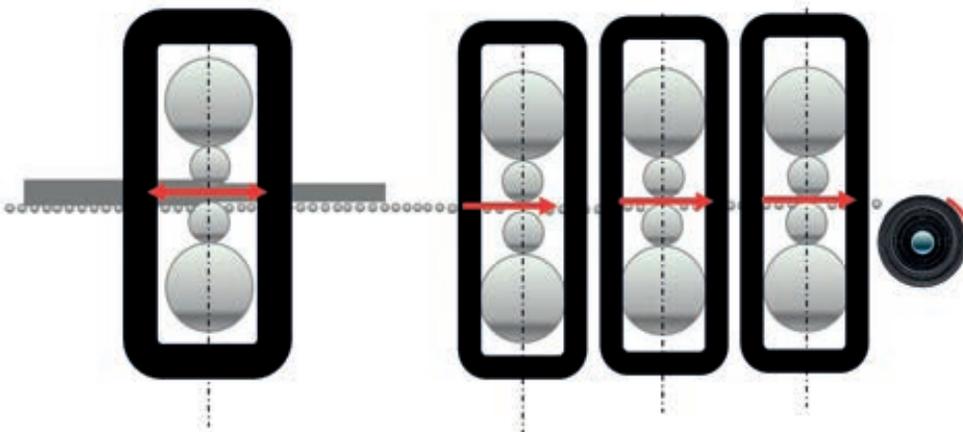


Figura 8 - treno di laminazione a caldo comprensivo di gabbia reversibile e 3 gabbie non reversibili

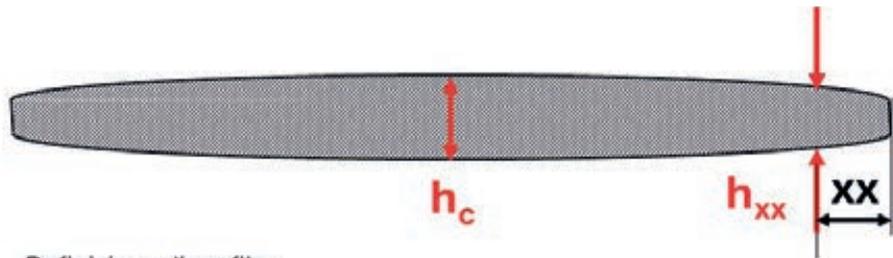
Il rotolo ottenuto dovrà soddisfare:

- a) lo spessore finale: trattandosi di leghe che si incrudiscono per deformazione plastica, lo spessore di partenza della successiva laminazione a freddo dovrà essere compreso entro limiti ben definiti affinché possano essere rispettate le caratteristiche fisiche finali;
- b) il profilo del laminato: la sezione finale del laminato non è rettangolare, ma avrà una forma detta a "sigaro", cioè avrà uno spessore maggiore al centro che ai bordi. Questo valore è dato dalla differenza tra il valore dello spessore centrale del nastro, che corrisponde con lo spessore target, e lo spessore misurato ad una certa distanza dal bordo. Tale forma è ricercata in quanto permette di ottenere una migliore avvolgitura del nastro e una minore intensità delle tensioni di avvolgitura ai bordi del nastro al fine di ridurre il rischio di rotture, ma non dovrà essere accentuata per evitare maggiori difficoltà di controllo della planarità del laminato. Da notare che tale forma non potrà più essere cambiata in termini per-

- c) temperatura di fine laminazione: dovrà essere superiore alla temperatura di ricristallizzazione affinché i cristalli del laminato si "adattino" alla nuova geometria e si evitino effetti di incrudimento dovuti alla deformazione plastica. Il rotolo ottenuto non è subito avviato al processo di laminazione a freddo, ma sottoposto a raffreddamento finale.

Il processo di laminazione e le relative regolazioni dovranno essere fatte con continuità nel corso del processo per permettere di intervenire correggendo i parametri della macchina; per i precedenti punti a) e b) si ricorre alla misura in linea non a contatto, utilizzando misuratori a raggi X, con i quali è possibile dedurre lo spessore attraverso la decadenza della radiazione ionizzante che attraversa il laminato, mentre per la temperatura è possibile utilizzare dei pirometri o termocoppie a contatto (misura effettuata nel transitorio tra un passo e il successivo durante l'inversione di rotazione della gabbia reversibile).

Figura 9  
profilo del laminato e sua misura



**Definizione di profilo:**

- Assoluto:  $C_{xx} = h_c - h_{xx}$  [μm]
- Relativo:  $c_{xx} = \frac{C_{xx}}{h_c} = \frac{h_c - h_{xx}}{h_c}$  [%]

**xx indica la distanza dal bordo in mm: di solito 100 mm (C<sub>100</sub>)**

Figura 10  
laminatoio a caldo



## Tipologie di laminatoi a freddo

La lavorazione è eseguita principalmente con laminatoi a gabbia singola non reversibile, di diverse tipologie basate sul numero e funzione dei rulli utilizzati. La prima tipologia di laminatoio, anche da un punto di vista storico, è il "Duo" che consiste in una sola coppia di rulli che provvedono alla deformazione plastica del laminato: si tratta di un sistema semplice, ma che presenta dei limiti da un punto di vista di capacità di produzione e di qualità. Per superare questi limiti si sono sviluppati e diffusi soprattutto laminatoi di tipo "Quarto" che consistono in una coppia di rulli di lavoro e una coppia per il sostegno, per poi trovare laminatoi di tipo "Sesto" (6 rulli) oppure 12 o 20 rulli.

L'evoluzione della tipologia e geometria è funzione della necessità superare i limiti tecnologici e di processo, legati alla possibilità di ottenere prodotti laminati che rispettino i requisiti di spessore e planarità richiesti dall'applicazione finale. Parallelamente allo sviluppo geometrico e meccanico della macchina si aggiunge l'evoluzione dei sistemi di controllo propedeutici alla gestione dei parametri di processo della macchina.

Il motivo dello sviluppo dal semplice laminatoio di tipo duo a quarto, che rappresenta circa il 90% della tipologia dei laminatoi in funzione, è legato alla necessità di ridurre l'inflessione dei rulli di lavoro grazie al supporto dei rulli di sostegno, che provvedono all'applicazione della forza di laminazione. Nello schema della figura

successiva è rappresentata la distribuzione delle forze che applicate ai rulli di sostegno vengono trasmesse ai rulli di lavoro e da questi al laminato che tende ad inflettersi e deformare i rulli di lavoro che sono a loro volta sopportati dai rulli di sostegno.

L'assenza dei rulli di sostegno comporta un'eccessiva flessione dei rulli di lavoro con un conseguente maggiore spessore al centro del laminato rispetto ai bordi, il che si traduce in una variazione del profilo con conseguenti difetti di planarità del laminato. Ricercare l'aumento di rigidità del rullo di lavoro con l'aumento del diametro risulta invece controproducente perché comporterebbe la necessità di un aumento della forza di laminazione a parità di riduzione e tipologia di metallo laminato. Questo avviene perché all'aumento del diametro del rullo di lavoro, a parità di riduzione di spessore tra entrata e uscita, aumenta l'arco di contatto e di conseguenza una riduzione della pressione specifica sul laminato che dovrà quindi essere compensata da un aumento della forza di compressione applicata ai rulli di laminazione.

Nell'ottica quindi di ricercare il minor carico di lavorazione, si sono sviluppati laminatoi con rulli di lavoro di diametro sempre più piccolo introducendo però il problema della flessione del rullo di lavoro nella direzione di laminazione. Per contrastare questo effetto sono stati sviluppati i laminatoi tipo Cluster. Il primo esempio si è avuto nel 1931 con un laminatoio sperimentale ideato da

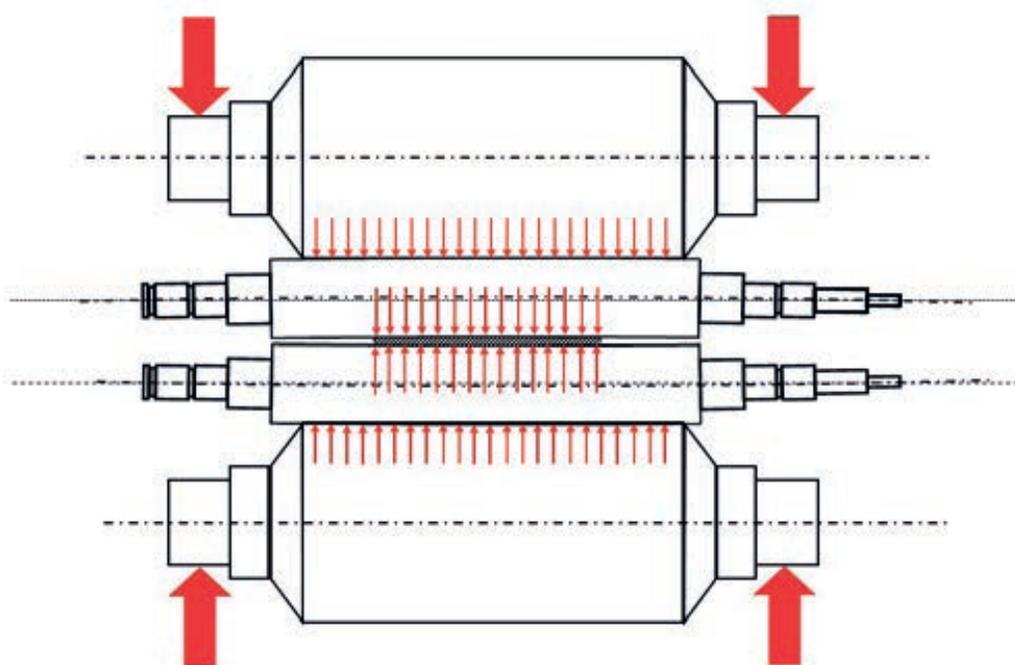


Figura 11  
distribuzione delle forze in  
un laminatoio di tipo quarto

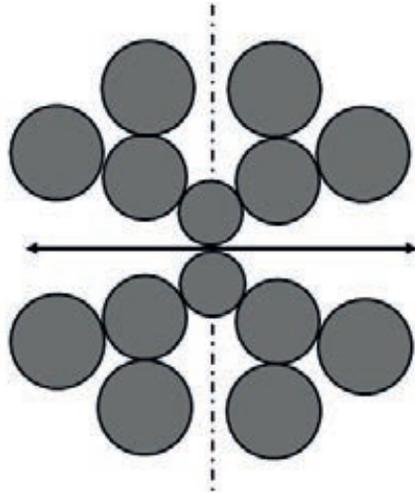


Figura 12 - schema laminatoio Sendzimir

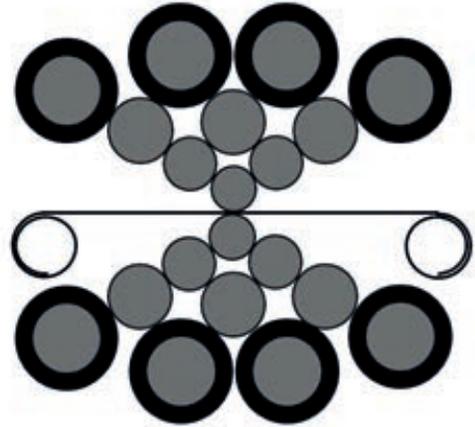


Figura 13 - schema dei moderni laminatoi di tipo cluster

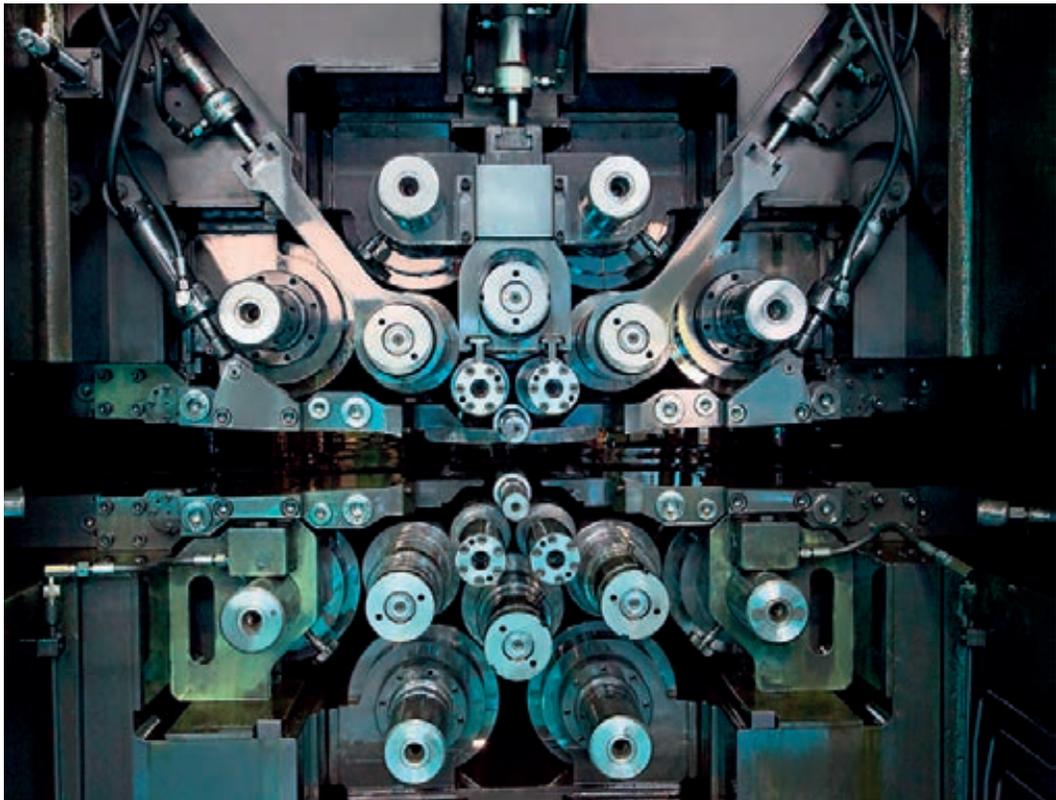


Figura 14 - laminatoio di tipo Cluster 1-2-3-4

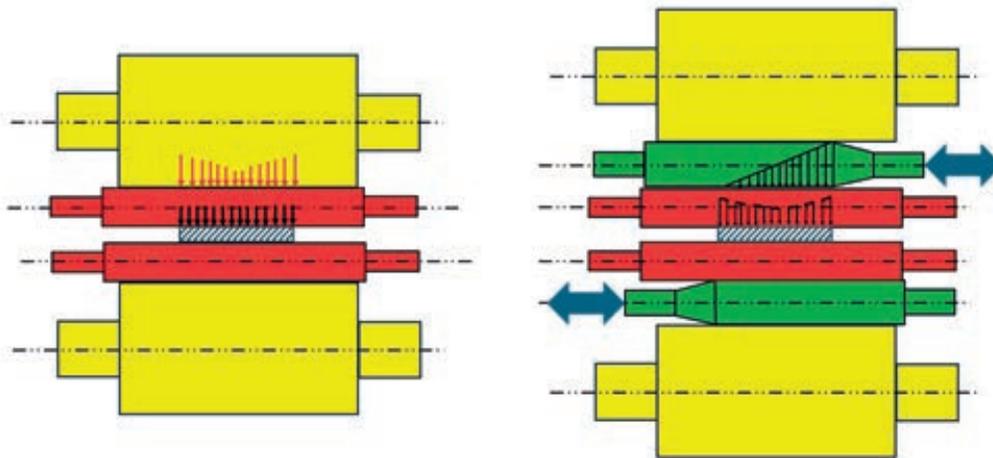


Figura 15 - confronto distribuzione delle forze tra laminatoi di tipo quarto e tipo sesto



Figura 16 - vista laterale di un laminatoio sesto

Tadeusz Sendzimir che consisteva in una configurazione dei rulli 1-2-4 (figura 12): come si può vedere i rulli di lavoro sono supportati da due rulli di sostegno che sono a loro volta sostenuti da un'ulteriore coppia di rulli. Questo sistema permette di raggiungere un'elevata rigidità dell'insieme gabbia permettendo un miglior controllo del profilo del laminato grazie alla possibilità di gestire rulli di lavoro di piccolo diametro. Attualmente i laminatoi Sendzimir, utilizzati per la laminazione dell'acciaio, sono del tipo 1-2-3-4

(figura 13). In questa tipologia di laminatoi i hanno 4 rulli motorizzati (evidenziati con la cerchiatura) e i rulli di lavoro hanno diametro compreso tra i 50 e 90mm (le ridotte dimensioni permettono il cambio a mano velocemente riducendo i tempi di attrezzaggio).

Diverso è invece il concetto dei laminatoi tipo "Sesto": in questo caso tra il rullo di lavoro e il rullo di sostegno è inserito un rullo intermedio. Lo scopo è quello di tendere a raggiungere l'ideale situazione in cui il rullo di sostegno abbia

l'esatta larghezza del laminato in modo da avere una più uniforme distribuzione delle forze.

Questa tipologia di macchine è più complicata da gestire e mantenere ma offre una maggiore flessibilità rispetto al laminatoio quarto, soprattutto nei casi in cui sia spesso necessario laminare rotoli con larghezze differenti tra di loro, vista la sua maggiore possibilità di regolazione. Infatti, i rulli intermedi vengono fatti traslare assialmente in senso opposto alla larghezza del nastro e mantenuti in quella posizione per l'intero passo di laminazione.

Come accennato in precedenza, è comunque il laminatoio di tipo quarto maggiormente utilizzato vista la capacità di garantire ottimi livelli di qualità e di adattabilità a fronte di una minore complessità costruttiva, di gestione e manutenzione.

### La laminazione a freddo dell'alluminio

Il processo è così definito perché, a prescindere

dallo sviluppo di calore che si genera durante la laminazione, a seguito della deformazione plastica e dei fenomeni di attrito, la temperatura del laminato non raggiungerà mai la temperatura di ricristallizzazione del metallo lasciandone inalterata la struttura.

Inoltre, sono definiti due metodi di lavorazione detti:

1. **controllo in posizione:** in questo caso i rulli di lavoro vengono posizionati in modo da lasciare una luce attraverso la quale verrà fatto passare il laminato. Questo metodo di lavorazione è applicato quando si lavorano laminati per il quale è richiesto uno spessore finale superiore a 0,500 – 0,300 mm;
2. **controllo in pressione:** i rulli sono a contatto sottoposti ad un carico di chiusura trasmesso dai rulli di sostegno. Questo setup del laminatoio è richiesto per laminare l'alluminio a spessori di uscita inferiori a 0,300

Figura 17  
esempio di appaiatura di due  
rotoli in entrata laminatoio



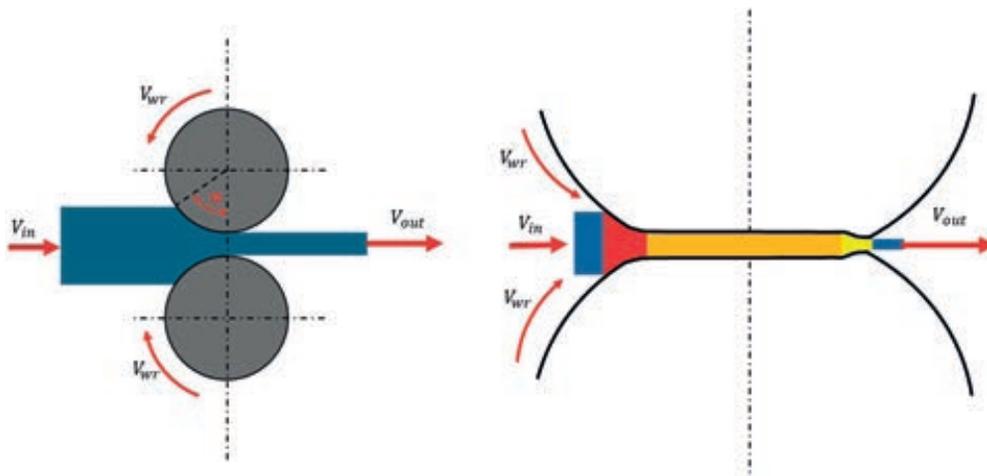


Figura 18 - confronto tra le diverse sezioni di laminazione

mm. Tale metodologia è applicata per la produzione di fogli alluminio con spessore finale che attualmente può arrivare a 0,0055 mm. Da notare che già per spessori finali inferiori a 0,020 mm si opta per la “laminazione in doppio”, cioè in entrata si avranno 2 fogli che verranno ridotti contemporaneamente di spessore e avvolti su un unico rotolo allo spessore finale pari alla somma dello spessore richiesto (esempio 6+6=12  $\mu\text{m}$ ). I laminati prodotti con laminazione in doppio sono facilmente riconoscibili per la presenza di una superficie lucida, quella che, durante la laminazione, viene a contatto con i rulli di lavoro, e una opaca che è quella di contatto tra i fogli. Nella figura 17 è riportato un esempio di come può avvenire l'appaiatura di due rotoli in entrata.

La diversa condizione di lavorazione ha anche ripercussioni su quella che è la forma della zona di contatto tra rulli di lavoro e laminato. Infatti, se nel primo caso si ritrova la nota forma dell'arco di contatto caratterizzata dal punto neutro, ove la velocità periferica del cilindro e quella lineare del laminato coincidono, nel caso di lavorazione in pressione, la sezione di contatto tenderà a presentare una zona schiacciata dove si avrà coincidenza tra la velocità del laminato e rulli di lavorazione.

Inoltre, nel caso di laminazione in pressione la deformazione non avviene in modo graduale ma in tre distinte zone, la cui estensione dipenderà anche da altri parametri utilizzati: tiro in avvolgitura, contro-tiro in svolgitura, carico di laminazione, condizioni e quantità di fluido lubrificante in uso. Infatti, come detto in precedenza, lo sviluppo di calore, dovuto sia per la deformazione

plastica che per attrito tra rulli e laminato, è molto elevato per cui l'azione del lubrificante diventa importante. Per la laminazione a freddo dell'alluminio, sono quindi utilizzate frazioni leggere dei distillati petroliferi (normal paraffine o iso paraffine) perché, rispetto ad altre tipologie di refrigeranti, evitano il fenomeno di ossidazione dell'alluminio, sono facilmente eliminabili dalla superficie dei laminati e non lasciano residui durante le fasi di trattamento termico intermedio. Questi però non possiedono proprietà lubrificanti che devono essere compensati con specifici additivi che permettono di ridurre il coefficiente di attrito tra rulli e laminati: ebbene la variazione di questi ultimi, proprio per le capacità di favorire lo “scorrimento” del laminato tra i rulli, permette, con il loro incremento, di favorire, a parità di potenza applicata, il raggiungimento dello spessore previsto in uscita.

Per meglio comprendere l'importanza dei diversi parametri può essere utile rifarsi al seguente schema semplificato del laminatoio, (figura 19) dove si individua:

1. aspo devolgitore: viene svolto il materiale da laminare (nel caso di “laminazione in doppio” si avranno due rotoli di uguale spessore e caratteristiche come visto in figura 17);
2. gruppo rulli di ingresso: hanno lo scopo di allineare il nastro ed evitare pieghe in entrata;
3. gruppo di rulli di lavoro e di sostegno: la parte che esegue la riduzione di spessore posti all'interno di una struttura ad elevata rigidità detta gabbia;
4. misuratore di spessore: solitamente di tipo a raggi X misura in continuo lo spessore del

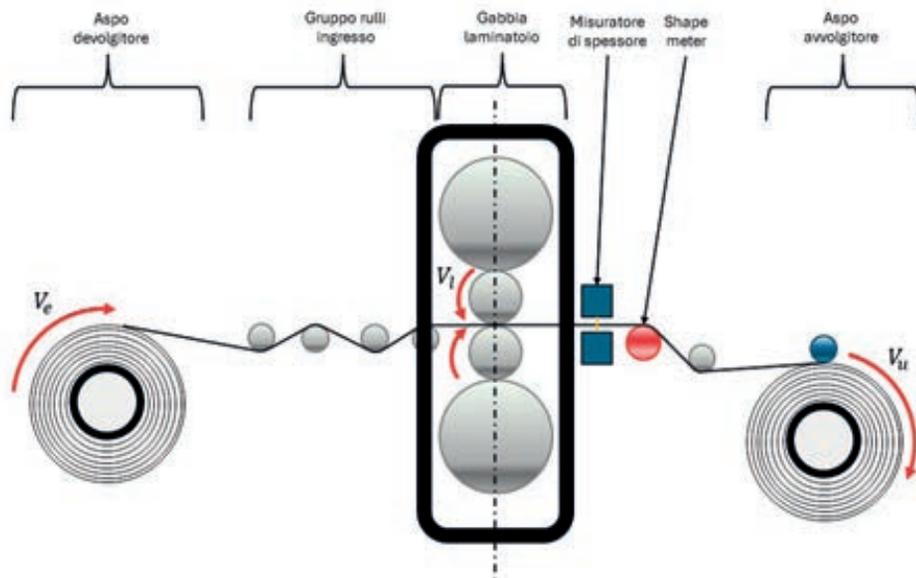


Figura 19 - Schema di un laminatoio quarto non reversibile

laminato in uscita (in alcune macchine può essere prevista anche la misura di spessore in entrata);

5. rullo stressometrico, "shape meter" che, misurando lo stato tensionale del nastro in uscita, permette di misurare la planarità del laminato. Per alcune tipologie di questi rulli è associato un rullo, detto deflettore, che ha lo scopo di mantenere costante l'angolo di abbraccio;
6. rullo premirotolo: ha lo scopo di favorire un'avvolgitura uniforme del nastro;
7. aspo avvolgitore: riavvolge il nastro in uscita.

Il laminatoio è quindi da intendersi come tre elementi distinti che devono essere gestiti al meglio per ottenere il massimo dalla laminazione:

- svolgitura;
- laminazione;
- avvolgitura.

Nella svolgitura il nastro dovrà avere una sufficiente tensione che permetta, attraverso l'interazione dei rulli in ingresso, di evitare la formazione di pieghe sia longitudinali che trasversali; tale effetto è ottenuto applicando una determinata tensione specifica in svolgitura, opponendosi quindi al trascinamento del nastro ad opera dei rulli di laminazione. In questo modo il drive connesso all'aspo non lavora come motore ma come generatore: agendo sulle regolazioni sarà possibile variare la tensione specifica di svolgitura (contro tiro).

La fase di laminazione dovrà prevedere alla riduzione di spessore per l'intera larghezza del nastro evitando di modificare il profilo che si è ottenuto al termine del processo di laminazione a caldo in quanto, ad ogni sua variazione, si andrà ad introdurre un difetto di planarità. Per poter agire su quelli che sono i parametri disponibili, sono fondamentali i controlli effettuati in uscita attraverso la misura dello spessore e dello stato tensionale del nastro: a tal proposito in figura 20 è visibile la zona di uscita di un laminatoio ove si nota la sezione ricevente del misuratore di spessore e il rullo stressometrico sul quale sono visibili i diversi anelli che, interagendo con le celle di carico interposte internamente sul rullo, sono in grado di misurare lo stato tensionale del nastro.

Infine è importante che il nastro sia avvolto in modo uniforme, cercando di ridurre al minimo l'aria intrappolata tra le spire in fase di avvolgitura: per questo motivo l'aspo avvolgitore è dotato di una coppia motrice che tende trascinare il nastro in uscita e da un rullo premirotolo che provvede distendere uniformemente il nastro. In questo caso il drive dell'aspo lavorerà come motore che applicherà quindi una coppia di trazione che di tramuterà in tiro specifico sul laminato in uscita.

In queste condizioni il laminato, trovandosi in ogni istante sottoposto al tiro di avvolgitura, agirà sul rullo stressometrico che, grazie alle celle di carico di cui è dotato, è in grado di mi-



Figura 20 - misuratore di spessore e rullo stressometrico

surare la differenza di distribuzione del tiro sulla larghezza del nastro e rilevare, in questo modo eventuali difetti di laminazione.

Considerando idealmente il nastro suddiviso in strisce, eccedendo con la riduzione di spessore per una, rispetto alle altre, questa subirebbe un allungamento maggiore che si tramuterebbe in una riduzione di carico sul rullo. Al contrario una minore riduzione di spessore causerebbe un aumento della tensione che andrebbe ad agire sul rullo. I valori delle misure sono poi trasmessi al PLC della macchina che provvede a modificare alcuni dei parametri che possono influenzare questo aspetto.

### Conclusioni

Anche se attratti dalle tecnologie innovative guidate dagli evidenti progressi tecnologici che si incontrano nel corso della vita quotidiana o professionale, non possono essere dimenticati processi ormai collaudati perché anch'essi in continua evoluzione.

Il mercato, con le sue esigenze di riduzione dei costi, competitività e impatto ambientale, pretende da processi ritenuti consolidati limiti sempre più spinti, come il caso dell'alluminio utiliz-

zato per gli imballaggi tal quale, esempio per i contenitori, o accoppiato con carta o cartone per la produzione di imballaggi per alimenti che spingono al raggiungimento in spessori finali sempre più bassi.

È inoltre richiesta una continua riduzione dei tempi di lavorazione, che si tramuta in un aumento delle velocità di processo (sia in laminazione che nelle successive fasi di lavorazione) e nel contempo una riduzione di variabilità delle caratteristiche dei prodotti finali.

Tutto ciò si traduce in un continuo aggiornamento tecnologico dei sistemi di controllo di produzione, che devono essere sempre più sensibili e veloci nei tempi di risposta ove è quindi importante la conoscenza teorica dei sistemi di lavorazione, la conoscenza della lavorazione e dei sistemi di controllo.

La condivisione delle conoscenze tra quella che è l'ingegneria dei processi di produzione con quella specifica di chi si occupa della progettazione delle macchine e dei sistemi di controllo, è fondamentale per permettere l'evoluzione tecnologica necessaria per assecondare le esigenze sempre più spinte del mercato, offrendo quindi spunti per nuove ricerche volte al miglioramento continuo.

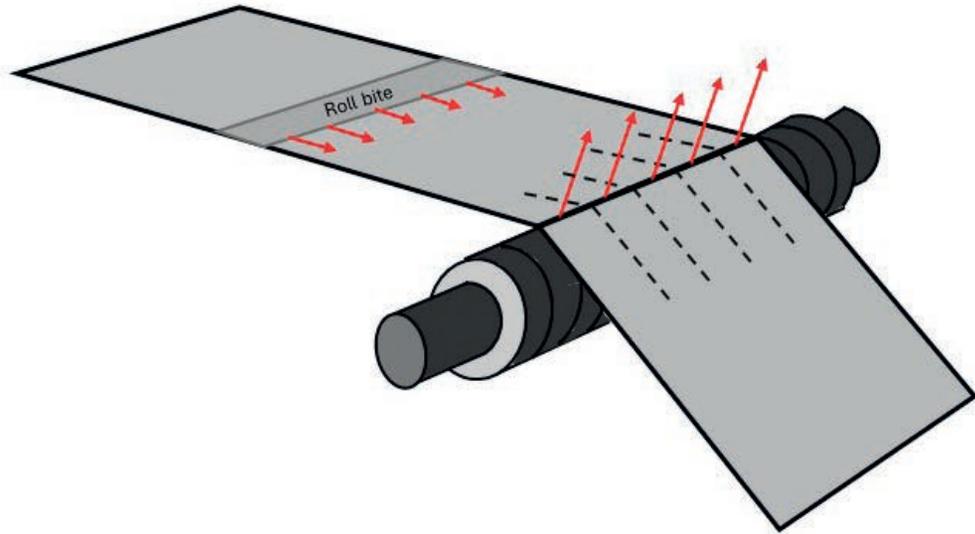


Figura 21 - azione del laminato sul rullo stressometrico





*Autore:*

Ing. Marco Sovera  
Ing. Marta Carlucci

*Revisionato da:*

Ing. Alessandro Tirocchi

*Commissione:*

La direzione di cantiere



**L'ISTITUTO DELLA RISERVA NEGLI  
APPALTI PUBBLICI SECONDO IL  
NUOVO CODICE DEGLI APPALTI  
D.LGS. 36/2023**

## Premessa

Con il nostro precedente articolo “L’istituto della riserva nei contratti d’appalto”, pubblicato sulla Rivista **ioRoma** n. 1/2022 abbiamo trattato la tematica delle riserve nei lavori pubblici in modo generale per dare la giusta visione agli operatori del settore alla luce dell’allora normativa vigente. Il “nuovo” codice degli appalti, il D.Lgs. 36/2023 ormai entrato in pieno vigore in tutti i nuovi appalti di opere pubbliche, ha abrogato il Decreto Ministeriale n. 49 del 2018 “Linee Guida della direzione dei Lavori” e, nel disciplinare la fase dell’esecuzione, ha riscritto anche l’istituto della riserva in maniera univoca, introducendo una procedura valida per tutte le Stazioni Appaltanti. La disciplina delle riserve si può infatti trovare nell’art. 115 del codice (e nell’art. 121 per quanto riguarda specificatamente le sospensioni) che rimanda all’Allegato II.14, allegato dedicato alla **fase esecutiva** ed alla Direzione dei Lavori, che è diventato punto di riferimento per tutte le Stazioni Appaltanti.

Questo articolo vuole dare una sintetica panoramica generale su quanto è stato introdotto dal Nuovo Codice sul tema delle riserve, commentando l’art. 7 dell’Allegato II.14, volendo sottolineare che il Codice indica le regole del gioco, specificando come vanno gestite dal lato della Committenza, indicando altresì quale siano le regole per l’Operatore Economico per una cor-

retta iscrizione delle stesse, lasciando in ogni caso alla giurisprudenza alcune tematiche ancora da approfondire.

Dobbiamo anche fare presente che, come ormai siamo abituati da tempo, e ci rivolgiamo a tutti gli operatori del settore, la pregressa giurisprudenza, le consuetudini, ed anche tutte le normative precedenti, restano comunque punto di riferimento per questa materia, che molto articolata, va affrontata con attenta lettura e conoscenza delle regole e non ultimo mediante un supporto legale specializzato.

### 1. Modalità di iscrizione delle riserve: Tempestività, Quantificazione, decadenza

Il primo comma dell’ART.7 ALL. II.14 recita: «In linea di principio, l’iscrizione delle riserve è finalizzata ad assicurare alla stazione appaltante, durante l’intera fase di esecuzione del contratto, il continuo ed efficace controllo della spesa pubblica, la tempestiva conoscenza e valutazione, sulla base delle risultanze contenute nel registro di contabilità, delle eventuali pretese economiche avanzate dall’appaltatore e l’adozione di ogni misura e iniziativa volte a evitare che i fondi impegnati si rivelino insufficienti».

Pertanto, secondo quanto citato dal sopra riportato comma, viene introdotto il concetto di Tempestività: l’impresa deve essere tempestiva nell’iscrivere riserva a pena di decadenza, sul primo



atto utile qualora si rendesse conto e prendesse coscienza che qualche evento non ascrivibile alle sue doglianze, lo induca a subire maggiori costi non previsti dal progetto iniziale, per poter consentire alla Stazione Appaltante di conoscere eventuali aumenti di costo dell'opera.

Questa definizione si porta dietro anche il concetto di decadenza, in quanto: l'appaltatore è tenuto ad essere tempestivo, quindi ad iscrivere le riserve sul primo atto utile al sorgere dell'evento. Altro tema che ritroviamo nel comma 2 dell'ART.7 ALL. II.14 è che le riserve devono essere formulate in modo specifico, esplicitando le motivazioni sulle quali si fondano e la quantificazione dei danni subiti.

Sempre comma 2 dell'ART.7 ALL. II.14 recita «Le riserve devono essere formulate in modo specifico e indicare con precisione le ragioni sulle quali si fondano. In particolare, le riserve devono contenere a pena di inammissibilità:

- a) *la precisa quantificazione delle somme che l'esecutore ritiene gli siano dovute [...];*
- b) *l'indicazione degli ordini di servizi, emanati dal direttore dei lavori o dal direttore dell'esecuzione, che abbiano inciso sulle modalità di esecuzione dell'appalto;*
- c) *[...] le contestazioni relative alle disposizioni e istruzioni del direttore dei lavori o del direttore dell'esecuzione che potrebbero comportare la responsabilità dell'appaltatore o che potrebbero determinare vizi o difformità esecutive dell'appalto».*

**Il legislatore specifica in maniera univoca, pertanto, come comportarsi quando si ritiene opportuno iscrivere riserva.**

Una volta definite in modo chiaro ed univoco ed in che modo iscrivere riserva, è bene approfondire chi ha l'onere di Iscriverle.

## 2. Tempistiche di iscrizione e controdeduzione delle riserve

**Chi iscrive riserva?** Solitamente l'arduo compito dell'iscrizione delle riserve è destinato al Direttore Tecnico di Cantiere che, opportunamente delegato, ha la chiave e la memoria storica per esplicitare in maniera esaustiva e puntuale l'accaduto.

È bene sottolineare che, per quanto la tempestività resti un caposaldo per la validità di iscrizione delle riserve, il Legislatore **ha tolto l'obbligo** – ex DPR 207/2010 già abrogato - di iscrizione delle riserve su registro di contabilità **entro 15 giorni** dell'emissione dello stesso, dando ampia autonomia alle stazioni appaltanti che hanno l'obbligo di dare indicazioni chiare sul Capitolato Speciale d'appalto sulle tempistiche e modalità di iscrizione delle riserve, a pena di decadenza da parte dell'appaltatore, e devono altresì indicare le tempistiche e le modalità per

l'iscrizione delle controdeduzioni da parte della Direzione Lavori.

Come abbiamo detto prima il codice prevede che sia il CSA a dettare le regole su questa tempistica, e purtroppo nel caso in cui ciò non avvenga sembra sia necessaria una iscrizione contemporanea alla firma dell'atto o registro in questione.

Tutto quanto ciò nonostante si potrebbe, ad ogni modo, appellarsi ai “famosi” 15 giorni di cui all'ex D.PR 207/2010 (per quanto abrogato) a cui siamo tutti stati abituati a conformarci fino a ieri.

La riserva, dal punto di vista dell'amministrazione, abbiamo detto essere uno strumento per monitorare costantemente l'eventuale aumento dei costi e del tempo di esecuzione dell'opera. Tale monitoraggio e supervisione viene affrontato in prima battuta mediante una verifica della Direzione Lavori.

Il nuovo quadro normativo, infatti, **all'ART.1 comma 2 lett.2)** dell'ALLII.14, riprende l'approccio dall'art.9 DM 49/2018 prevedendo che la Direzione Lavori deve gestire le contestazioni su aspetti tecnici e le riserve dell'appaltatore, attenendosi alla relativa disciplina prevista dalla Stazione Appaltante e riportata nel Capitolato Speciale d'appalto.

È bene sottolineare come il nuovo quadro normativo non imputi esplicitamente alla Direzione Lavori l'onere di controdedurre nel registro di contabilità, anche se, nei rapporti e doveri del Direttore dei Lavori rientra sicuramente la redazione di apposita riserva al RUP in merito all'accaduto.

## 3. Non costituisce riserva

Il Nuovo codice, oltre a definire le modalità di iscrizione delle riserve, introduce anche la **descrizione di ciò che NON costituisce riserva, nel comma 1 dell'art.7, che cita:**

“[...] Non costituiscono riserve:

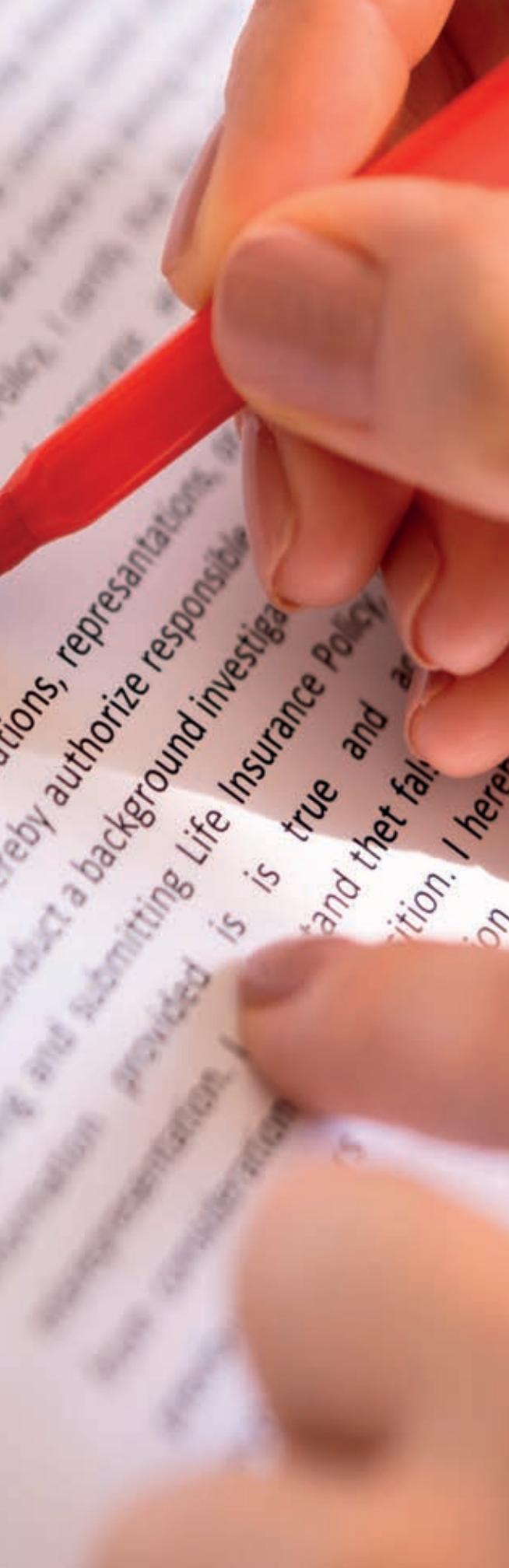
- a. le contestazioni e le pretese economiche che siano estranee all'oggetto dell'appalto o al contenuto del registro di contabilità;
- b. le richieste di rimborso delle imposte corrisposte in esecuzione del contratto di appalto;
- c. il pagamento degli interessi moratori per ritardo nei pagamenti;
- d. le contestazioni circa la validità del contratto;
- e. **le domande di risarcimento motivate da comportamenti della stazione appaltante o da circostanza a quest'ultima riferibili;**
- f. **il ritardo nell'esecuzione del collaudo motivato da comportamento colposo della stazione appaltante”.**

By signing and submitting Life Insurance  
information provided is ~~is~~ true and  
misrepresentation.

I understand that falsifications, representations, or  
verification, I hereby authorize responsible person  
submitting Life Insurance Policy, I certify that the  
provided is true and accurate and contains no  
misrepresentation. I hereby authorize responsible person  
submitting Life Insurance Policy, I certify that the  
provided is true and accurate and contains no  
misrepresentation. I hereby authorize responsible person  
submitting Life Insurance Policy, I certify that the  
provided is true and accurate and contains no  
misrepresentation.

By signing and submitting Life Insurance  
information provided is ~~is~~ true and  
misrepresentation.

I understand that falsifications, representations, or  
verification, I hereby authorize responsible person  
submitting Life Insurance Policy, I certify that the  
provided is true and accurate and contains no  
misrepresentation. I hereby authorize responsible person  
submitting Life Insurance Policy, I certify that the  
provided is true and accurate and contains no  
misrepresentation.



E' interessante soffermarci sul punto e) che si riporta di seguito:

*“Non costituisce riserva [...] e) **le domande di risarcimento motivate da comportamenti della stazione appaltante o da circostanza a quest'ultima riferibili**”.*

In questa casistica sembrerebbero rientrare le classiche riserve di Anomalo Andamento, ovvero riserve iscritte per ovviare a maggiori oneri affrontati dall'appaltatore per il mancato regolare svolgimento delle lavorazioni, per colpe ascrivibili alla Stazione Appaltante, casi in cui l'appaltatore si è trovato a non poter estrinsecare la propria capacità produttiva, o di illegittima protezione delle tempistiche delle lavorazioni.

Rientrerebbero tra le domande risarcitorie per fatti e colpe della S.A anche le ipotesi di **sospensione illegittima dei lavori, tardiva consegna dei lavori, difformità dello stato dei luoghi**. Nel caso della sospensione dei lavori, si andrebbe però in conflitto con quanto sancito **dall'ART.121 comma 7**: *«Le contestazioni dell'esecutore in merito alle sospensioni dei lavori, nelle ipotesi di cui ai commi 1, 2 e 6, sono iscritte, a pena di decadenza, nei verbali di sospensione e di ripresa dei lavori, salvo che la contestazione riguardi, nelle sospensioni inizialmente legittime[...]».*

In attesa della formalizzazione di un orientamento giurisprudenziale in materia, i maggiori oneri e danni subiti da ridotta produzione o da una protrazione per fatti e colpe ascrivibili alla S.A., possono continuare ad essere iscritti, quantificati e motivati, all'emissione del SAL, sotto la dizione di **RISERVE CAUTELATIVE**.

Risulta inoltre interessante commentare anche il punto f) dell'art.7 comma 1:

*“Non costituisce riserva: [...] f) **il ritardo nell'esecuzione del collaudo motivato da comportamento colposo della stazione appaltante**”.*

La volontà di escludere il ritardato collaudo dai titoli che costituiscono riserve potrebbe essere dovuta la fatto che il ritardato collaudo, oltre i 6 mesi (di cui all'art.116 comma 2 DLGS 36/2023) dall'ultimazione dei lavori, per fatti e colpa della stazione appaltante determina una violazione di legge, da cui scaturisce ex lege il diritto dell'appaltatore al risarcimento del danno subito.

Altro tema interessante da approfondire è **l'errore progettuale**. Relativamente agli aspetti progettuali, il legislatore non include nell'elenco di cui all' ART.7 dell' ALL. II.14 comma 1, l'errore progettuale. Tale titolo però viene menzionato dallo stesso all'interno dell'art. 210 comma 2, in cui nel regolamento per gli accordi bonari di lavori, al comma 2 recita *«[...] Non sono oggetto di riserva gli aspetti progettuali che siano stati oggetto di verifica ai sensi dell'articolo 42».*

**ART.210 comma 2 DLGS 36/2023 – Accordo**



**bonario per i lavori:** «[...] Non sono oggetto di riserva gli aspetti progettuali che siano stati oggetto di verifica ai sensi dell'articolo 42».

Volendo entrare nel merito, si vuole evidenziare come l'Appaltatore, in appalto di sola esecuzione, non entra nel merito del procedimento di verifica del progetto esecutivo di cui all'art. 42 DLGS 36/2023, **conservando pertanto il diritto** di poter iscrivere riserva cautelativa su eventuali errori progettuali, se non coinvolto in appalti integrati.

Quindi che fare se il casus belli rientra nei 6 casi sopra esclusi?

È chiaro che questo ancora non è ben definito! Una soluzione è far rientrare le motivazioni della riserva nei casi ammessi, valutando magari le dirette conseguenze sull'andamento dei lavori, magari sotto forma di Riserve Cautelative, come vedremo anche più avanti.

Altra soluzione è far riferimento all'art. 12 che cita "Art. 12. (Rinvio esterno) 1. **Per quanto non espressamente previsto nel codice:** a) alle procedure di affidamento e alle altre attività amministrative in materia di contratti si applicano le di-

sposizioni di cui alla legge 7 agosto 1990, n. 241; b) alla stipula del contratto **e alla fase di esecuzione si applicano le disposizioni del codice civile**", e quindi poter ricorrere per vie ordinarie con le tempistiche e procedure del caso.

#### 4. Riserve Contabili e Riserve Risarcitorie

L'oggetto delle riserve può essere suddiviso in due macro-gruppi a seconda della propria natura: Riserve Contabili e riserve Risarcitorie.

**Le Riserve Contabili** afferiscono a quelle richieste avanzate dall'appaltatore per dolersi dell'errata o mancata contabilizzazione di lavori svolti da parte della Direzione Lavori. Si riportano di seguito, in modo esemplificativo ma non esaustivo, alcune casistiche nelle quali rientrano le Riserve Contabili:

- mancato riconoscimento di una diversa e più onerosa modalità di esecuzione di una specifica prestazione rispetto a quanto previsto in contratto;
- può accadere che, se si rendesse necessaria una lavorazione non prevista all'inter-



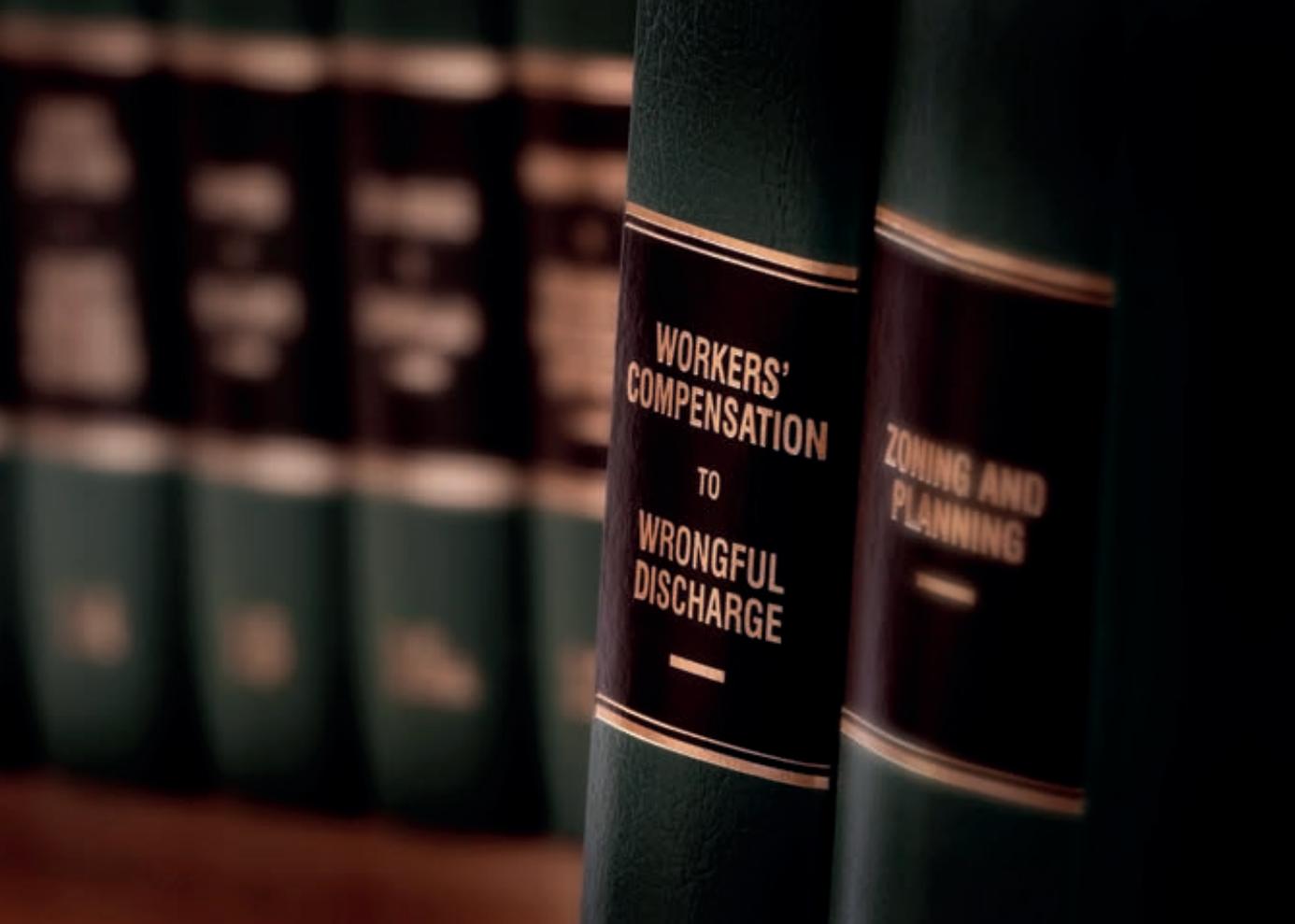
no del contratto, che non modifica sostanzialmente l'opera, si renda necessaria la redazione di un nuovo prezzo e, la dove la redazione del nuovo prezzo non sia condivisa dall'Appaltatore, allora quest'ultimo ha il diritto di iscrivere riserva, a pena di decadenza, sull'atto di sottomissione nel quale viene imposto il prezzo in esame;

- errata movimentazione di voci di compito metrico: nel caso in cui non venisse movimentata e contabilizzata nel S.A.L una voce che avrebbe dovuto essere riconosciuta, allora l'appaltatore ha il diritto di iscrivere riserva sul registro di contabilità lamentando e documentando le lavorazioni effettivamente eseguite e non contabilizzate;
- messa in opera di materiali più pregiati di quelli presenti in progetto, richiesti espressamente dalla Direzione Lavori tramite Ordine di servizio: nel caso in cui nell'Ods non venga espressamente dichiarato il quantum che verrà remunerato a fronte della spesa dall'appaltatore, quest'ultimo ha il diritto di poter iscrivere riserva sull'O.d.s

in attesa di reiscriverla sul primo registro di contabilità che verrà emesso successivamente all'uscita dell'O.d.s..

**Le Riserve Risarcitorie** afferiscono a quelle richieste avanzate dall'appaltatore afferenti ad un risarcimento di un danno provocato dalla condotta dolosa della Stazione Appaltante, che ha inibito la piena capacità produttiva dell'appaltatore e quindi il regolare svolgimento delle lavorazioni.

Stando però a quanto sancito dall'**ALL. II.14 ART.7 comma 1** «[...] Non costituiscono riserve: è [...] e) le domande di risarcimento motivate da comportamenti della stazione appaltante o da circostanza a quest'ultima riferibili;», sembrerebbero rientrare in questa casistica le classiche riserve di **Anomalo Andamento**, ovvero riserve iscritte per ovviare a maggiori oneri affrontati dall'appaltatore per il mancato regolare svolgimento delle lavorazioni, per colpe ascrivibili alla Stazione Appaltante, casi in cui l'appaltatore si è trovato a non poter estrinsecare la propria capacità produttiva, o di illegittima protezione delle tempistiche delle lavorazioni.



Rientrerebbero tra le domande risarcitorie per fatti e colpe della S.A anche le ipotesi di **sospensione illegittima dei lavori, tardiva consegna dei lavori, difformità dello stato dei luoghi.**

In attesa della formalizzazione di un orientamento giurisprudenziale in materia, i maggiori oneri e danni subiti da ridotta produzione o da una protrazione per fatti e colpe ascrivibili alla S.A. , possono continuare ad essere iscritti, quantificati e motivati, all'emissione del SAL, sotto la dizione di **RISERVE CAUTELATIVE.**

Per quanto riguarda le Riserve Iscritte sui Verbali Consegna dei lavori, l'impresa ha diritto di iscrivere riserva in due casistiche:

- 1) qualora lo stato dei luoghi non risponda a quanto riportato in progetto;
- 2) qualora la consegna non avvenga entro 45 giorni dalla firma del contratto.

Nel primo caso, è importante, richiamare quanto sancito dall' **art. 41 comma 7 dell'ALL.I.7:**

*«7. Il rapporto conclusivo del soggetto preposto alla verifica riporta le risultanze dell'attività svolta e accerta l'avvenuto rilascio da parte del direttore lavori, o del RUP qualora il direttore dei lavori non fosse ancora nominato, della attestazione in merito:*

- a) *alla accessibilità delle aree e degli immobili interessati dai lavori secondo le indicazioni*

- risultanti dagli elaborati progettuali;*
- b) *alla assenza di impedimenti sopravvenuti rispetto agli accertamenti effettuati prima dell'approvazione del progetto;*
- c) *alla conseguente realizzabilità del progetto anche in relazione al terreno, al tracciamento, al sottosuolo e a quanto altro occorre per l'esecuzione dei lavori.».*

È fondamentale che Il Direttore dei Lavori e/o RUP, prima della consegna dei lavori, si accerti che lo stato dei luoghi sia rispondente a quanto previsto in progetto, come disposto dall'art. 42 dell'allegato I.7.

Pertanto, a maggior ragione, quando vengono riscontrate **differenze fra lo stato dei luoghi e quanto previsto nel progetto** in appalto e l'appaltatore non può procedere alla realizzazione di altre opere e quindi non può presentare un Cronoprogramma alternativo dei lavori, l'appaltatore ha diritto e ragione di poter iscrivere riserva sul verbale di consegna dei lavori.

Mentre, per quanto riguarda il secondo caso, qualora la consegna avvenga in ritardo (oltre i 45 giorni dalla stipula del contratto) per causa imputabile alla stazione appaltante, **l'esecutore può chiedere di recedere dal contratto.**

Ove l'istanza dell'esecutore non sia accolta e si proceda tardivamente alla consegna, lo stesso ha diritto ad un indennizzo per i maggiori oneri



dipendenti dal ritardo.

L'appaltatore, pertanto potrà iscrivere riserva in calce al verbale di consegna lavori e ha **diritto ad un compenso pari alla produzione media giornaliera prevista dal programma dei lavori nel periodo di ritardo, calcolato dal giorno dell'istanza di recesso fino al giorno dell'effettiva consegna dei lavori.**

Le sospensioni dei lavori possono essere di tre tipologie: Legittime, illegittime e legittime che diventano illegittime, oltre a poter essere Totali o Parziali.

**Le sospensioni Legittime** non dipendono da fatti o colpe ascrivibili dalla Stazione Appaltante (Pandemia Mondiale, Ordine Pubblico). **L'appaltatore non è tenuto ad iscrivere riserva.**

**Le sospensioni Illegittime** sono causate da fatti e cause ascrivibili alla Stazione Appaltante. In questo caso, come recita l'art. 121 comma 7 **L'Appaltatore deve iscrivere riserva sia sul verbale di sospensione che di ripresa dei lavori, oltre che sul successivo registro di contabilità.**

**Le sospensioni legittime che diventano illegittime** sono quelle sospensioni che hanno un iniziale motivazione legittima, come ad esempio sospensione per motivi di ordine pubblico, ma si protraggono per un tempo non necessario, e possono dunque diventare illegittime. In questo caso, l'appaltatore non è tenuto ad iscrivere ri-

serva nel verbale di sospensione, ma, qualora si rendesse conto che le motivazioni legittime di sospensione sono cessate, può diffidare il RUP a dare le opportune disposizioni al Direttore dei Lavori perché provveda alla ripresa. La diffida sopra citata, è condizione necessaria per poter iscrivere riserva all'atto di ripresa dei lavori, qualora l'appaltatore voglia far valere l'illegittima maggiore durata della sospensione. Quanto detto è normato dall'art 8 comma3 All. II. 14.

**L'appaltatore cosa deve indicare nel redigere le riserve per titoli ascrivibili a sospensioni dei lavori?**

- 1) Le ragioni che determinano l'interruzione dei lavori;
- 2) lo stato di avanzamento dei lavori e delle opere la cui esecuzione rimanga interrotta;
- 3) la consistenza del personale impiegato e dei mezzi d'opera esistenti in cantiere al momento della sospensione.

**I risarcimenti dovuti all'esecutore sono normati dal DLGS. 36/2023 All. II.14 art. 7 c.2 :**

- a) *maggiori oneri per spese generali infruttifere;*
- b) *ritardata percezione dell'utile di impresa;*
- c) *il mancato ammortamento e le retribuzioni inutilmente corrisposte;*
- d) *determinazione dell'ammortamento.*

L'appaltatore deve poter procedere all'esecuzione dei lavori come previsto da cronoprogramma, con continuità, per poter espletare correttamente la produzione prevista.

La Stazione Appaltante ha altresì l'obbligo ed il dovere di collaborare e cooperare, per ovviare a qualsivoglia impedimento che intralci il regolare svolgimento delle lavorazioni, evitando il prolungarsi delle tempistiche e quindi il lievitare non atteso dei costi dell'opera.

Quando, ad esempio, non vi sia disponibilità di aree, o se la Direzione Lavori non adempisse al suo dovere nell'essere celere nell'approvazione dei materiali, allora l'appaltatore si potrebbe trovare a dover subire ritardi nell'esecuzione delle lavorazioni, quindi procedere con un Anomalo andamento rispetto a quanto previsto da cronoprogramma.

È per questo che è di fondamentale importanza avere un crono programma dettagliato, per poter verificare che nel tempo in cui si attendesse l'adempimento della S.A. e/o del DL, non si riuscisse effettivamente ad impiegare le maestranze ed i mezzi per la realizzazione di altri parti d'opera, e che quindi si stia subendo un oneroso sgravio, causato da fermo macchinari, fermo maestranze, per non escludere quanto già normato dall'art. 7 comma 2 dell'ALL.II.14 (*maggiori oneri per spese generali infruttifere, ritardata percezione dell'utile di impresa, il mancato ammortamento e le retribuzioni inutilmente corrisposte; determinazione dell'ammortamento.*

*I risarcimenti di Anomalo andamento, si calcolano sulla base delle voci di danno utilizzate anche in caso di sospensione illegittima, normato dall'art. 7 comma 2 dell'ALL.II.14 (maggiori oneri per spese generali infruttifere, ritardata percezione dell'utile di impresa, il mancato ammortamento e le retribuzioni inutilmente corrisposte; determinazione dell'ammortamento), oltre a maggiori danni subiti per fermo macchinari e maestranze.*

A differenza di quanto accade in caso di sospensione dei lavori, l'Appaltatore ha maggiori difficoltà in questa circostanza a poter limitare il danno in quanto, in caso di sospensione può cercare di riorganizzare le squadre di lavori e di impiegare su diversi fronti i macchinari, mentre nel caso di anomalo andamento, non avendo contezza dell'effettiva sospensione e quindi presunto fermo, il danno subito rischia di essere molto oneroso.

**Sull'Ordine di servizio**, facciamo riferimento al DLGS. 36/2023 art.115 c.2: «[...] L'esecutore dei lavori si uniforma alle disposizioni e agli ordini di servizio del direttore dei lavori senza poterne sospendere o ritardare il regolare sviluppo. Le riserve sono iscritte con le modalità e nei termini previsti dall'allegato II.14, a pena di decadenza dal diritto di fare valere, in qualunque tempo e modo, pretese relative ai fatti e alle contabilizzazioni risultanti dall'atto contabile...».

**Se quanto riportato nell'Ordine di Servizio viene ritenuto dall'Impresa al di fuori dei patti contrattuali e/o causa di maggiori oneri economici, e non viene espressamente scritto nell'ODS la remunerazione della lavorazione/fornitura imposta, allora l'Impresa può apporre la sua "riserva".**

##### 5. Iscrizione delle riserve sul registro di contabilità e sul conto finale

Per quanto il Legislatore abbia tolto la scadenza dei 15 giorni entro i quali perentoriamente l'appaltatore ha l'obbligo di legge di iscrivere riserva sul registro di contabilità, a pena di decadenza, il Nuovo codice ribadisce comunque l'obbligatorietà dell'iscrizione delle stesse sul registro e sul conto finale, a pena di decadenza. DLGS. 36/2023 **art.7 ALL. II.14 Comma 2** recita, infatti: «[...]In ogni caso, sempre **a pena di decadenza**, le riserve sono iscritte anche **nel registro di contabilità** all'atto della firma immediatamente successiva al verificarsi o al cessare del fatto pregiudizievole, nonché all'atto della sottoscrizione **del certificato di collaudo** mediante precisa esplicitazione delle contestazioni circa le relative operazioni. **Le riserve non espressamente confermate sul conto finale si intendono rinunciate** [...]».

**Ed anche il Comma 3 ribadisce:** " L'esecutore, all'atto della firma del conto finale, da apporre entro il termine di trenta giorni dall'invito del RUP a prenderne cognizione, non può iscrivere domande diverse per oggetto o per importo da quelle formulate nel registro di contabilità durante lo svolgimento dei lavori, e ha l'onere, a pena di decadenza, di confermare le riserve già iscritte sino a quel momento negli atti contabili per le quali non siano intervenute procedure di carattere conciliativo".

Il Legislatore, dunque, come sancito dall'AAL. II.14 art. 7 commi 2 e 3, impone all'appaltatore di iscrivere e riconfermare le riserve, a pena di decadenza, su tutti i registri di contabilità e sul conto finale.

Relativamente alla conferma sul Conto finale, deve avvenire contestualmente alla firma del documento, entro il termine **previsto di 30 giorni dalla messa a disposizione del conto finale**.

Non si esprime però, sulle tempistiche entro le quali le riserve debbono essere iscritte, una volta emesso il Registro di contabilità.

A tal proposito, convenzionalmente, in ottemperanza a quanto era contenuto nell'art. 191 DPR 207/2010 (*l'esecutore, previa firma con riserva del registro di contabilità, «esplica, a pena di decadenza, nel termine di quindici giorni, le sue riserve [...], si continua ad utilizzare il termine di 15 giorni, che però deve essere **espressamente definito nel CSA, non avendo ad oggi nessun valore cogente.***

## 6. Rinuncia

Le riserve possono essere anche oggetto di rinuncia: se la motivazione per cui si è iscritta riserva non ha più motivo di esistere, e quindi si è chiusa la partita che era iniziata con una iscrizione a registro, l'Impresa può, nella successiva chiusura contabile, rinunciare formalmente alla riserva in questione: come già visto al punto precedente, basta non confermare le riserve sul conto finale per farle decadere formalmente.

Questo è il caso in cui la Committenza, attraverso la Direzione dei Lavori, ha accolto una richiesta dell'Impresa, ed attraverso una perizia, una modifica del quadro economico, la redazione e concordamento di nuovi prezzi, ha ratificato l'accordo e permesso l'erogazione di un impor-

to mediante le regole di contabilità, rendendo la riserva a sua volta iscritta non più motivata.

## 7. Conclusioni

Come siamo abituati in Italia, dove regolarmente dopo un certo numero di anni tutta la normativa del settore viene riscritta ed aggiornata alla luce di quanto accaduto precedentemente e in base alle sentenze che sono state emesse, bisogna riallineare ed aggiornare le proprie conoscenze per prepararsi a gestire, a volte con nuove regole, il processo di costruzione sia da parte dell'Impresa (coinvolgendo gli attori principali quali il Direttore di Cantiere e di Commessa), sia da parte della Committenza (coinvolgendo i propri attori quali il RUP e il Direttore dei Lavori).





## ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 - Roma

Tel. 06.487.93.11 - Fax: 0.487.931.223

Cod. Fisc. 80201950583

### Orario di apertura al pubblico degli uffici

Lunedì	09:30-12:30	14:30-17:30
Martedì	09:30-12:30	14:30-17:30
Mercoledì	09:30-12:30	14:30-17:30
Giovedì	09:30-12:30	14:30-17:30
Venerdì	09:30-12:30	chiuso

### L'Ufficio cassa è aperto

Lunedì	09:30-12:30	14:30-17:30
Martedì	09:30-12:30	14:30-18:30
Mercoledì	09:30-12:30	14:30-18:30
Giovedì	09:30-12:30	14:30-18:30
Venerdì	09:30-12:30	14:30-18:30
Sabato	09:30-12:30	

## AREE DEL SITO WEB DELL'ORDINE



L'Homepage  
<https://www.ording.roma.it>



I seminari  
<https://www.ording.roma.it/formazione>



L'Albo degli iscritti  
<https://www.ording.roma.it/albo-iscritti>



Sito della rivista  
<https://ioroma.info>



L'Area degli iscritti  
<https://area-iscritti.ording.roma.it>

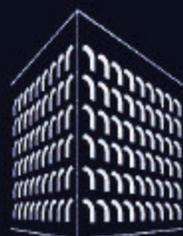


Elenco delle Commissioni  
<https://www.ording.roma.it/servizi-agli-iscritti/commissioni>



È possibile consultare tutti i numeri  
all'indirizzo Internet  
*[ioroma.info](http://ioroma.info)*





*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*  
*Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma*  
*[www.ording.roma.it](http://www.ording.roma.it)*