



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Edile

**Sviluppo di flussi di agenti per il supporto alla gestione delle forniture nei
cantieri edili**

**Development of agent-based workflows to support procurement
management in construction sites**

Relatore:
Prof. Alessandro Carbonari

Tesi di Laurea di:
Riccardo Tamburini

A.A. 2025/2026

INDICE

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA TESI

1.1 Contesto generale	pag. 4
1.2 Criticità nella gestione delle forniture	pag. 5
1.3 Modellazione dei processi dei flussi del lavoro	pag. 6
1.4 Ruolo dell'intelligenza artificiale nei processi gestionali	pag. 7
1.5 Obiettivo della tesi	pag. 9

CAPITOLO 2 – ACQUISIZIONE DATI E ANALISI DEL PROCESSO

2.1 Metodologia di acquisizione dei dati	pag. 10
2.2 Analisi della documentazione tecnica	pag. 11
2.3 Analisi del processo operativo e dei flussi informativi	pag. 20
2.4 Considerazioni preliminari alla modellazione BPMN	pag. 21

CAPITOLO 3 – MODELLAZIONE BPMN DEL PROCESSO

3.1 Introduzione alla modellazione BPMN	pag. 22
3.2 Definizione del processo generale	pag. 23
3.3 Attori coinvolti nei flussi informativi	pag. 24
3.4 Modellazione BPMN del processo di realizzazione delle fondazioni	pag. 26
3.5 Individuazione dei sub processi critici	pag. 30
3.6 Considerazioni preliminari sui flussi standardizzati	pag. 31

CAPITOLO 4 – WORKFLOW AUTOMATIZZATI

4.1 Introduzione ai flussi di lavoro standardizzati	pag. 32
4.2 Workflow di consultazione elaborati	pag. 33
4.3 Struttura del Workflow	pag. 35
4.4 Verifiche sul corretto funzionamento del flusso	pag. 64
4.5 Criticità riscontrate	pag. 82
4.6 Workflow di elaborazione richiesta	pag. 83
4.7 Struttura del Workflow	pag. 84
4.8 Verifiche sul corretto funzionamento del flusso	pag. 102
4.9 Criticità riscontrate	pag. 108
4.10 Considerazioni complessive sui flussi programmati	pag. 109

CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI	pag. 110
---------------------------------	----------

BIBLIOGRAFIA	pag. 112
---------------------	----------

SITOGRAFIA	pag. 113
-------------------	----------

RINGRAZIAMENTI	pag. 114
-----------------------	----------

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA TESI

1.1 Contesto generale

La gestione delle forniture rappresenta una fase fondamentale nell'organizzazione e nella conduzione di un cantiere edile. La disponibilità dei materiali nelle corrette quantità e nei tempi previsti costituisce infatti un elemento essenziale per garantire la continuità delle lavorazioni, il rispetto del cronoprogramma e il controllo dei costi di realizzazione.

La pianificazione degli approvvigionamenti richiede l'analisi e l'integrazione di numerose informazioni provenienti da differenti documenti tecnici e gestionali, tra cui elaborati esecutivi, computi metrici estimativi e cronoprogramma. Tali documenti contengono informazioni complementari che devono essere correttamente interpretate e coordinate dalle figure tecniche coinvolte nella gestione del cantiere.

Nella pratica operativa, questa attività viene spesso svolta attraverso procedure manuali basate sull'esperienza degli operatori e sul continuo confronto tra le diverse fonti informative disponibili. Questo approccio rappresenta ancora oggi una modalità comunemente utilizzata dalle imprese; tuttavia, l'elevato numero di informazioni da gestire rende utile l'introduzione di strumenti digitali a supporto dell'organizzazione dei dati.

In questo contesto si inserisce il presente lavoro di tesi, finalizzato all'analisi del processo di gestione delle forniture all'interno di un caso studio reale. Il progetto analizzato riguarda la realizzazione di un supermercato situato a San Lorenzo – Pesaro (PU) in via Dante Alighieri 8, con particolare attenzione alla fase di realizzazione delle fondazioni su plinti a bicchiere.

La scelta di concentrarsi su tale fase deriva dalla presenza di diverse attività di coordinamento tra documentazione tecnica, programmazione temporale delle lavorazioni e gestione delle forniture, aspetti che la rendono particolarmente significativa per l'analisi dei flussi informativi di cantiere.

1.2 Criticità nella gestione delle forniture

La gestione delle forniture in un cantiere edile richiede il coordinamento di diverse informazioni tecniche, economiche e temporali. Le figure coinvolte nel processo devono infatti analizzare la documentazione disponibile, individuare le lavorazioni da eseguire, determinare i materiali necessari e programmare gli approvvigionamenti in funzione dell'avanzamento previsto dal cronoprogramma.

Nel processo tradizionale tali attività vengono svolte principalmente attraverso la consultazione manuale di diversi documenti, tra cui elaborati esecutivi, computi metrici estimativi e programmi temporali delle lavorazioni. Le informazioni necessarie alla gestione delle forniture risultano quindi distribuite all'interno di più fonti e devono essere integrate attraverso l'esperienza e le competenze delle figure tecniche coinvolte.

Questa modalità operativa, pur rappresentando una prassi consolidata nel settore delle costruzioni, può comportare alcune criticità. La necessità di effettuare continui controlli incrociati tra documenti differenti aumenta infatti il tempo dedicato alla ricerca delle informazioni e può generare difficoltà nel mantenere aggiornato il quadro complessivo delle forniture durante l'evoluzione del cantiere.

In particolare, la gestione degli approvvigionamenti richiede di collegare correttamente tre aspetti fondamentali: cosa deve essere realizzato, quali materiali sono necessari e quando tali materiali devono essere disponibili in cantiere.

La corretta organizzazione di queste informazioni risulta inoltre importante anche per le successive attività di gestione del cantiere. I dati relativi alle lavorazioni previste, alle quantità e alle tempistiche possono infatti essere utilizzati anche per il controllo dell'avanzamento dei lavori e per la gestione della contabilità di cantiere, collegando gli aspetti tecnici del processo con quelli economici.

Per tali motivi risulta di interesse valutare l'utilizzo di strumenti digitali in grado di supportare l'organizzazione delle informazioni e automatizzare alcune attività ripetitive legate alla gestione dei flussi informativi di cantiere.

1.3 Modellazione dei processi dei flussi del lavoro

Per analizzare un processo operativo è necessario rappresentare in modo chiaro le attività che lo compongono, i flussi di informazioni e le interazioni tra i diversi soggetti coinvolti. A questo scopo vengono utilizzati strumenti di Business Process Management (BPM), che permettono di descrivere un processo attraverso una rappresentazione organizzata delle sue principali attività.

Tra gli standard maggiormente utilizzati per la modellazione dei processi rientra il BPMN (Business Process Model and Notation), una notazione grafica sviluppata con l'obiettivo di fornire un linguaggio comune e facilmente interpretabile sia dagli utenti tecnici sia dalle figure coinvolte nella gestione del processo [1]. Il BPMN permette di rappresentare un processo attraverso elementi grafici standardizzati, come eventi, attività, gateway e flussi di collegamento, consentendo di descrivere non solo la sequenza delle operazioni, ma anche le responsabilità degli attori coinvolti e lo scambio di informazioni tra essi. La modellazione del processo costituisce quindi una prima fase di analisi utile per individuare attività che potrebbero essere migliorate o automatizzate. Attraverso il modello BPMN sviluppato, è possibile analizzare in modo più chiaro le diverse attività che compongono il processo, individuando eventuali passaggi ripetitivi o caratterizzati da una forte gestione di informazioni. Queste attività rappresentano i punti del processo in cui può essere valutata l'introduzione di strumenti di supporto digitale o di automazione. A partire dall'analisi del processo modellato è quindi possibile sviluppare workflow automatizzati, ovvero flussi digitali nei quali alcune operazioni vengono eseguite attraverso strumenti software, con l'obiettivo di ridurre attività manuali e migliorare la gestione delle informazioni. Nel presente lavoro, la modellazione BPMN viene utilizzata per rappresentare il processo reale adottato dall'impresa nella gestione delle forniture relative alle lavorazioni di fondazione. L'analisi del modello ha permesso di individuare specifici sub processi caratterizzati dall'elaborazione di informazioni provenienti da diverse fonti, successivamente implementati attraverso workflow automatizzati sviluppati mediante la piattaforma n8n.

1.4 Ruolo dell'intelligenza artificiale nei processi gestionali

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni è stato interessato da un progressivo incremento dell'utilizzo di strumenti digitali finalizzati al miglioramento della gestione delle informazioni e al supporto dei processi decisionali. La realizzazione di un'opera edilizia richiede infatti la produzione, l'aggiornamento e la consultazione di una grande quantità di dati provenienti da fonti differenti, come elaborati progettuali, computi metrici estimativi, cronoprogrammi, documentazione tecnica e comunicazioni operative.

La gestione di tali informazioni rappresenta un aspetto fondamentale nei processi di project management, in quanto i dati necessari alle decisioni operative risultano spesso distribuiti all'interno di diversi documenti e disponibili in formati non strutturati o semi-strutturati. La ricerca manuale delle informazioni può quindi richiedere tempi significativi e aumentare la possibilità di errori dovuti alla consultazione e interpretazione dei dati disponibili [2].

Per affrontare queste problematiche, negli ultimi anni sono state introdotte soluzioni basate sull'Intelligenza Artificiale, con particolare riferimento alle tecniche di Natural Language Processing (NLP), finalizzate all'elaborazione automatica delle informazioni contenute in documenti testuali. Tuttavia, alcune applicazioni tradizionali risultano strettamente legate a compiti specifici e presentano limitazioni nella comprensione del contesto e nell'interpretazione del significato delle informazioni analizzate [2].

Un'evoluzione significativa in questo ambito è rappresentata dai Large Language Models (LLM), modelli di Intelligenza Artificiale sviluppati per comprendere ed elaborare il linguaggio naturale. A differenza degli approcci basati principalmente sulla ricerca di parole chiave, gli LLM permettono di analizzare grandi quantità di informazioni testuali e generare risposte considerando il contesto della richiesta effettuata dall'utente [2].

L'evoluzione dei modelli linguistici ha inoltre favorito lo sviluppo di sistemi basati su AI Agent, nei quali gli LLM vengono integrati con strumenti esterni e fonti informative dedicate. Queste architetture consentono al modello non solo di elaborare informazioni,

ma anche di interagire con differenti sorgenti dati, recuperare informazioni specifiche e produrre output strutturati a supporto dell'utente [3].

Nonostante le potenzialità offerte da questi strumenti, l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale nei processi tecnici richiede particolare attenzione alla qualità dei dati utilizzati. La correttezza delle informazioni fornite al sistema rappresenta infatti un elemento fondamentale per ottenere risultati affidabili, soprattutto in ambiti caratterizzati da documentazione specialistica e informazioni specifiche del progetto [3].

L'integrazione di modelli AI all'interno di workflow automatizzati rappresenta quindi una possibile soluzione per supportare alcune attività ripetitive di gestione delle informazioni, consentendo di combinare l'automazione dei processi digitali con la capacità interpretativa dei modelli linguistici avanzati.

Nel contesto del presente lavoro di tesi, tali strumenti vengono analizzati come supporto alla gestione della commessa edilizia, con particolare riferimento all'estrazione delle informazioni dai documenti tecnici, all'organizzazione dei dati e all'automazione di alcune attività legate alla gestione delle forniture di cantiere.

1.5 Obiettivo della tesi

L'obiettivo della presente tesi è analizzare e modellare il processo di gestione delle forniture relativo alle lavorazioni di fondazione all'interno di un caso studio reale, con lo scopo di individuare le principali attività informative coinvolte e valutare l'applicazione di strumenti digitali a supporto della loro gestione.

Il lavoro è stato sviluppato partendo da una fase iniziale di acquisizione e analisi della documentazione tecnica esecutiva di progetto, necessaria per comprendere le informazioni utilizzate dalle diverse figure coinvolte nel processo. Successivamente, attraverso il confronto diretto con l'impresa, è stato analizzato il flusso operativo adottato nella gestione delle forniture ed è stata realizzata una modellazione BPMN del flusso informativo reale.

La rappresentazione del flusso ha permesso di individuare alcuni sub processi caratterizzati da attività ripetitive e da una significativa gestione di informazioni, successivamente implementati attraverso workflow automatizzati sviluppati.

L'obiettivo dell'automazione proposta non è quello di sostituire le figure tecniche coinvolte, ma di fornire uno strumento di supporto alla consultazione della documentazione, all'organizzazione dei dati e alla gestione delle informazioni necessarie per la programmazione delle forniture.

L'attività è stata svolta a partire dal confronto con l'impresa coinvolta nel caso studio, al fine di rappresentare un processo operativo reale e valutare l'applicazione di strumenti digitali a supporto della gestione delle informazioni di cantiere.

CAPITOLO 2 - ACQUISIZIONE DATI E ANALISI DEL PROCESSO

2.1 Metodologia di acquisizione dei dati

L'attività di acquisizione dati è stata condotta attraverso l'analisi della documentazione tecnica ed esecutiva relativa alle lavorazioni di fondazione e mediante il confronto diretto con le figure coinvolte nel processo operativo di cantiere.

Questa fase ha avuto l'obiettivo di comprendere non solo gli aspetti progettuali della lavorazione analizzata, ma anche il modo in cui le informazioni vengono ricercate e utilizzate nella gestione delle forniture.

Per questo motivo l'analisi non si è limitata alla sola consultazione degli elaborati progettuali, ma ha riguardato anche lo studio dei flussi informativi tra i diversi soggetti coinvolti. In particolare, sono state analizzate le modalità con cui vengono individuati i documenti necessari, estratte le informazioni utili alla programmazione delle attività e successivamente elaborate le richieste di approvvigionamento verso i fornitori.

Le informazioni raccolte durante questa fase hanno costituito la base per la successiva modellazione BPMN del processo reale e per l'analisi dei flussi informativi presenti nella gestione delle forniture.

2.2 Analisi della documentazione tecnica

Al fine di comprendere il processo operativo adottato dall'impresa nella gestione delle forniture, è stata effettuata un'analisi della documentazione tecnica relativa alle lavorazioni di fondazione del caso studio.

La gestione di un cantiere edile richiede l'utilizzo di differenti documenti, necessari per raccogliere e organizzare le informazioni relative alla progettazione, alla pianificazione e alla successiva fase esecutiva dell'opera. Tali documenti possono essere distinti in documentazione tecnica progettuale e documentazione operativa e gestionale di cantiere. La documentazione tecnica progettuale comprende gli elaborati utilizzati per definire le caratteristiche dell'opera, le modalità di realizzazione e la programmazione delle attività. All'interno di questa categoria rientrano gli elaborati grafici progettuali, le relazioni tecniche, il computo metrico estimativo, il capitolato speciale d'appalto, il cronoprogramma delle lavorazioni e la documentazione relativa alla sicurezza, come il piano di sicurezza e coordinamento (PSC) e il piano operativo di sicurezza (POS).

La documentazione operativa e gestionale di cantiere riguarda invece gli elaborati utilizzati durante la fase esecutiva per il coordinamento delle attività, la gestione degli approvvigionamenti e il controllo delle forniture. Tra questi rientrano i contratti di fornitura relativi ai materiali impiegati, come calcestruzzo e acciaio, e i Documenti di Trasporto (DDT) utilizzati per la registrazione e il controllo dei materiali consegnati in cantiere. La documentazione analizzata ha permesso di comprendere l'organizzazione complessiva del processo operativo di cantiere e le relazioni tra le diverse attività e figure coinvolte. Tali informazioni sono state utilizzate come base per la successiva modellazione del processo mediante metodologia BPMN (*vedi paragrafo 3.1*), anche se non tutti gli elaborati considerati sono stati direttamente impiegati nei workflow automatizzati sviluppati. Nell'ambito del presente lavoro sono stati successivamente approfonditi gli elaborati maggiormente coinvolti nella gestione delle forniture, in quanto contenenti le informazioni necessarie alla definizione delle lavorazioni, alla programmazione delle attività e all'organizzazione degli approvvigionamenti.

2.2.1 Cronoprogramma

CRONOPROGRAMMA LAVORI DI CANTIERE : REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO A DESTINAZIONE COMMERCIALE - ANNO DI REALIZZAZIONE 2026																		
						Calendario in settimane												
WBS	Codice CME	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine	Marzo				Aprile				Maggio				
1	—	Allestimento cantiere	7	01/03/2026	07/03/2026	■												
2	—	Scavo generale area e scavi a sezione fondazione	24	07/03/2026	31/03/2026		■	■	■	■								
3	*	Fondazioni plinti a bicchiere e cordoli	30	21/03/2026	20/04/2026					■	■	■	■	■				
4	—	Riempimenti	7	20/04/2026	30/04/2026									■				
5	**	Montaggio struttura prefabbricata	21	01/05/2026	21/05/2026										■	■	■	■

Figura 1- Estratto da “Cronoprogramma”

Il cronoprogramma rappresenta lo strumento utilizzato per la pianificazione temporale delle lavorazioni previste in cantiere. Esso permette di organizzare la sequenza delle attività, individuando le date di inizio e fine delle lavorazioni e la durata stimata delle diverse fasi operative [4]. Nel caso studio analizzato, il cronoprogramma ha permesso di individuare il periodo previsto per l’esecuzione delle lavorazioni di fondazione, comprese tra il 21/03/2026 e il 20/04/2026, (Figura 1) rappresentando uno dei documenti utilizzati per la successiva organizzazione delle forniture.

2.2.2 PSC (Piano di sicurezza e coordinamento)

Il piano di sicurezza e coordinamento (PSC) è il documento redatto in fase progettuale che individua i rischi derivanti dalle interferenze tra le lavorazioni e definisce le misure di prevenzione e coordinamento necessarie durante l’esecuzione dell’opera [5].

2.2.3 POS (Piano operativo di sicurezza)

Il piano operativo di sicurezza (POS) è il documento predisposto dall’impresa esecutrice nel quale vengono descritte l’organizzazione delle lavorazioni, le attrezzature utilizzate e le procedure operative adottate per garantire lo svolgimento delle attività in sicurezza [5].

2.2.4 Pianta strutturale delle fondazioni

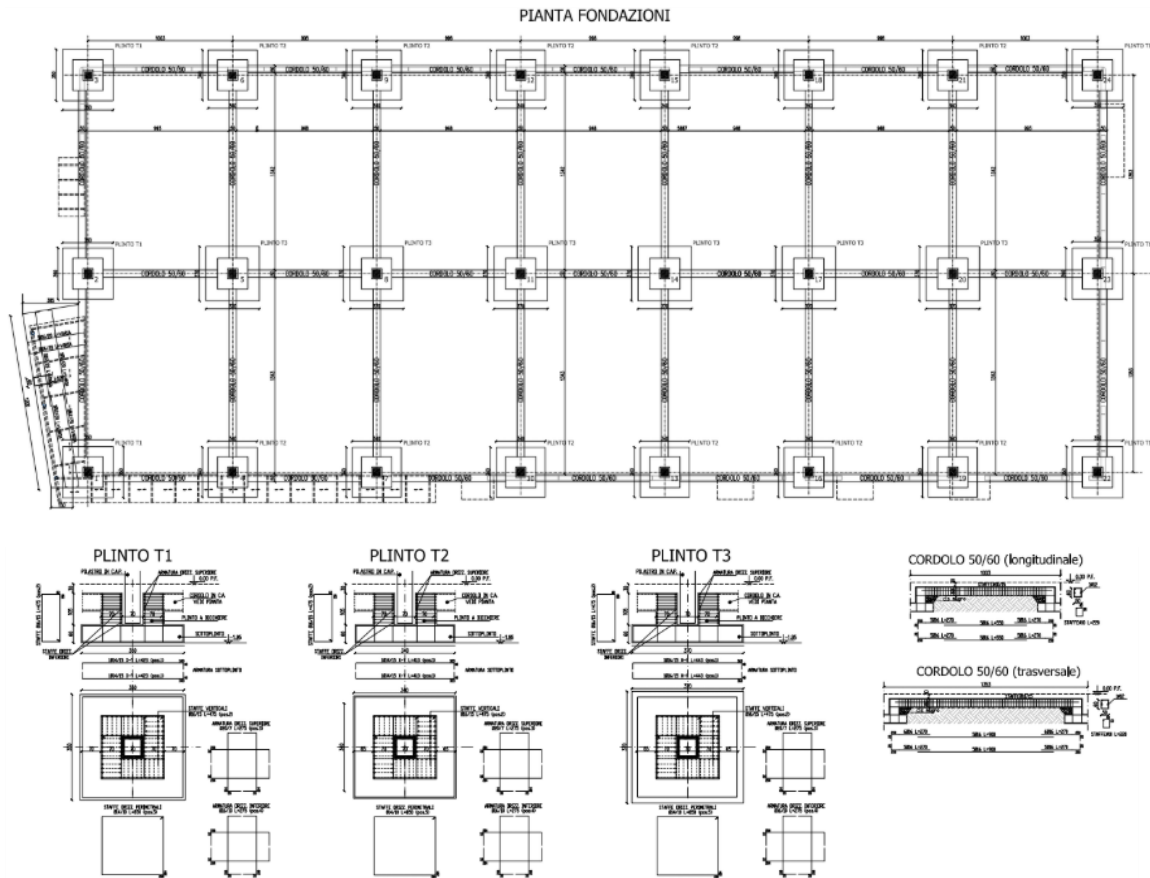


Figura 2 – Estratti da “Pianta fondazioni”

Gli elaborati grafici strutturali rappresentano la base tecnica per la realizzazione delle opere in cemento armato e prefabbricate. Essi contengono le piante di fondazione, le sezioni strutturali, i dettagli costruttivi e le quote necessarie alla determinazione delle quantità.

Nel presente caso studio, tali elaborati consentono di individuare gli elementi strutturali previsti e i relativi materiali necessari alla loro realizzazione, in particolare il calcestruzzo per le opere di fondazione. Attraverso le informazioni riportate negli elaborati è possibile identificare il numero e la tipologia degli elementi presenti, come i differenti plinti identificati mediante specifici codici (*ad esempio T1, T2, T3*), e ricavare le quantità di materiale richieste sulla base delle dimensioni geometriche indicate. Un estratto dell’elaborato strutturale analizzato è riportato in *Figura 2*.

2.2.5 Relazione tecnica

La relazione tecnica costituisce il documento descrittivo generale dell'opera e ne illustra le caratteristiche dimensionali, funzionali e strutturali. Essa definisce la tipologia costruttiva adottata, il contesto di inserimento dell'intervento e i principali criteri progettuali. Nel caso studio, la relazione individua la presenza di una struttura prefabbricata in c.a.p., le dimensioni generali dell'edificio e l'organizzazione delle aree operative, elementi utili a inquadrare il sistema strutturale oggetto di analisi.

2.2.6 Computo metrico estimativo delle fondazioni e delle opere di urbanizzazione

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO							
	<u>LAVORI A MISURA</u>							
	Demolizioni-Scavi (SpCat 1)							
1 02.01.001*	Scavo di sbancamento con uso di mezzi meccanici. Scavo di sbancamento eseguito con uso di mezzi meccanici di materie di qualsiasi natura e consistenza, asciutte, bagnate o melmose, ... ure) ed il trasporto a discarica con i relativi oneri. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita. SpCat 1 - Demolizioni-Scavi Scavo sbancamneto fino quota massicciata Scavo di sbancamento zona fondazioni vasca idraulica	4000,00 2000,00 84,00			1,250 1,760 3,000	5'000,00 3'520,00 252,00		
	SOMMANO m³					8'772,00	6,34	55'614,48
2 02.01.003* .001	Scavo a sezione obbligata con uso di mezzi meccanici. Scavo a sezione obbligata, eseguito con uso di mezzo meccanico, di materie di qualsiasi natura e consistenza asciutte, bagnate ... relativi oneri. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare l'opera finita. Scavi fino alla profondità di m 3,00. SpCat 1 - Demolizioni-Scavi Plinti di fondazione Scavi fondazione muri di contenimento verso strada e rampe di accesso	24,00	4,00 258,00	4,000 0,800	2,500 1,000	960,00 206,40		
	SOMMANO m³					1'166,40	14,60	17'029,44
3 18.06.005* .002	Fondazione stradale in misto granulometrico frantumato meccanicamente con legante naturale, tipo 0-25, 0-70, mediante la compattazione eseguita a mezzo di idonee macchine, fino ad ... quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte. Misurazione a compattazione avvenuta. Tipo 0-70 SpCat 1 - Demolizioni-Scavi Parcheggi, corsie e spazi di manovra *(par.ug.=2224+1450) Riempimento tra i cordoli di fondazione	3674,00 2224,00			0,400 0,600	1'469,60 1'334,40		
	SOMMANO m³					2'804,00	34,85	97'719,40

Figura 3 – Estratto da “Computo metrico delle opere di urbanizzazione”

Fondazioni							
WBS	Codice	Lavorazione	U.M.	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	m ³	66,861	CLS C25/35	€ 118,00	€ 7.889,598
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	m ³	132,84	CLS C25/35	€ 118,00	€ 15.675,12
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	m ³	67,743	CLS C25/35	€ 118,00	€ 7.993,674
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	m ³	54,4	CLS C25/35	€ 118,00	€ 6.419,20
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	m ³	49,2	CLS C25/35	€ 118,00	€ 5.805,60
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	kg	72.000	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400
TOT. fondazioni =							€ 103.183,20

Figura 4 – Estratto da “Computo metrico delle opere di fondazione”

Il computo metrico estimativo (*Figura 3 e Figura 4*) rappresenta il documento attraverso il quale vengono individuate e quantificate le lavorazioni previste dal progetto. Esso associa alle diverse voci di lavorazione le relative quantità e i prezzi unitari, consentendo la determinazione dell'importo economico complessivo dell'opera [4]. Nel caso in esame, il computo fornisce informazioni fondamentali per la gestione degli approvvigionamenti, tra cui i codici, le lavorazioni, i volumi di calcestruzzo in m^3 , le quantità di acciaio in kg e i relativi costi associati alle lavorazioni di fondazione.

2.2.7 Capitolato speciale d'appalto

Il capitolato speciale d'appalto definisce le prescrizioni tecniche, qualitative e prestazionali che regolano l'esecuzione delle lavorazioni previste dal progetto [4].

Esso contiene informazioni relative alle caratteristiche dei materiali, alle modalità di esecuzione, ai controlli richiesti e alle condizioni di accettazione delle forniture.

2.2.8 Contratto di fornitura dell'acciaio e del calcestruzzo

STEELWORKS ITALIA

Lavoratore e parte in opera di cantiere per C.A.
Offerta n. 15/26

CENTRO DI TRASFORMAZIONE n. 30259

Spett.le
[Redacted]
Pinerolo (PI)

10 gennaio 2026

Oggetto: preventivo per la fornitura di ferro tondo nervato tipo B450C lavorato rifuso per il Vs. cantiere di Montebellato per la realizzazione di fondazioni di edificio a destinazione commerciale.

Spett.le ditta,
ringraziandovi per la fiducia accordata, con la presente vi formuliamo la nostra migliore offerta di cui in oggetto:

• Ferro tondo nervato lavorato rifuso € 896,00 a t. *0,79 Kg*

CONDIZIONI DI VENDITA:

- Pagamenti: r.b.a. a 90 gg. D.F. F. M.
- Il ritardo di un mese rispetto alle singole scadenze, relative a qualsiasi fornitura, come pure l'insoddisfazione di una sola R.B.a. comporterà, senza necessità di atti e promosse giudiziali, la decadenza del termine concesso per il pagamento della fornitura, potendo, in tal caso, la ditta SteelWorks Italia pretendere il pagamento dell'importo in un'unica soluzione. Con immediata sospensione della fornitura.
- Prezzo: fisso sino al 31.03.2026.
- IVA: I prezzi si intendono esclusi da IVA al 22%.
- Trasporto: compreso.
- A Vs. cantiere: scarico e movimentazione del materiale sul cantiere.
- Compresi: sviluppo del ferro da disegno, controlli di laboratorio sul ferro come da D.M.17/01/2018.
- N.B.: la nostra azienda è certificata ISO 9001:2008, ed è qualificata come centro di trasformazione, come richiesto dal D.M. 14/01/2008 e da D.M.17/01/2018, garantisce pertanto la rintracciabilità dei materiali.

In attesa di un vostro riscontro, ringraziandovi per averci interpellato, cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

PER ACCETTAZIONE _____ STEELWORKS ITALIA

BetonNord

Offerta Prodotti
Pag. 2

Prodotti richiesti dal cliente

30R154C3 Cls Basic C12/15 S4 D32	€/m³ 97,00
30R204C3 Cls Basic C16/20 S4 D32	€/m³ 100,00
30R304C9 Cls Basic C25/30 a/c max 0.60 S4 D32	€/m³ 109,00
30R354C9 Cls Basic C28/35 a/c max 0.60 S4 D32	€/m³ 114,00
30R374C9 Cls Basic C30/37 a/c max 0.60 S4 D32	€/m³ 117,00
30R404C9 Cls Basic C32/40 a/c max 0.60 S4 D32	€/m³ 120,00
30R454C9 Cls Basic C35/45 a/c max 0.60 S4 D32	€/m³ 126,00

BetonNord _____ Firma e timbro dell'acquirente per accettazione: _____

Figura 5 – Estratti da Contratto di fornitura acciaio e calcestruzzo

Il contratto di fornitura rappresenta il documento utilizzato per definire le condizioni relative all'approvvigionamento dei materiali necessari alla realizzazione delle lavorazioni previste.

Nel caso specifico, il documento analizzato riguardante la fornitura dell'acciaio destinato alle opere di fondazione. All'interno del contratto sono riportate le principali informazioni relative alla fornitura, tra cui il fornitore incaricato, la tipologia di materiale richiesto, il prezzo unitario concordato pari a € 0,79 al kg, le condizioni di vendita e le modalità di consegna del materiale in cantiere. Nel caso studio analizzato, il contratto permette di individuare la fornitura di ferro tondo nervato B450C lavorato, utilizzato per le armature delle fondazioni. Dal documento vengono inoltre ricavate informazioni necessarie alla gestione dell'approvvigionamento, come il riferimento del fornitore, il materiale oggetto della fornitura e i dati economici associati.

Un estratto del contratto di fornitura dell'acciaio analizzato è riportato in *Figura 5*.

Analogamente alla fornitura dell'acciaio, è stato analizzato anche il contratto relativo all'approvvigionamento del calcestruzzo, materiale necessario alla realizzazione degli elementi di fondazione. Nel documento sono riportate le diverse tipologie di calcestruzzo disponibili, identificate attraverso le relative classi di resistenza e caratteristiche prestazionali, insieme ai prezzi unitari associati. Tali informazioni consentono di individuare il materiale più adatto alle lavorazioni previste e di associare ad esso il relativo fornitore. Nel caso studio analizzato, per la realizzazione degli elementi di fondazione è stato considerato il calcestruzzo C28/35 con classe S4 di lavorabilità e diametro massimo aggregato D32, individuato all'interno del documento di fornitura (*Figura 6*).

L'informazione relativa alla tipologia di materiale e al relativo costo unitario rappresenta un dato utilizzato nella gestione delle richieste di approvvigionamento e nelle successive attività di controllo e contabilità del cantiere. I dati relativi alle quantità ordinate, alle caratteristiche del materiale e ai prezzi unitari di calcestruzzo ma anche di acciaio (*Figura 5 e Figura 6*), permettono infatti di confrontare quanto previsto in fase di pianificazione con le forniture effettivamente eseguite, supportando il controllo dei costi e dell'avanzamento economico delle lavorazioni sviluppate all'interno del workflow.

2.2.9 Documento di trasporto (DDT) dell'acciaio e del calcestruzzo

Il documento di trasporto (DDT) rappresenta il documento utilizzato per accompagnare la consegna dei materiali in cantiere e certificare l'effettiva movimentazione della fornitura. Esso permette di collegare la fase di richiesta del materiale con la successiva fase di ricezione e controllo in cantiere.

All'interno del documento vengono riportate le principali informazioni relative alla consegna, tra cui il riferimento della fornitura, la data di emissione, il materiale consegnato, la quantità fornita e il relativo destinatario.

Nel caso studio analizzato, il documento relativo alla fornitura di acciaio (*Figura 6*) permette di verificare la consegna del ferro tondo nervato B450C, riportando la quantità effettivamente fornita espressa in peso. Tale informazione consente il confronto con le quantità previste negli elaborati progettuali e nel computo metrico estimativo (*Figura 4*).

odice Articolo	Descrizione	Um	Q.ta	Prezzo	Sconto	Totale	C.iv
IF. DDT N.	320/ Del:26-02-2026						
3	FORNITURA DI FERRO TONDO NERVATO	T	9,840	800,00		7.872,00	22
LO COTTO 16	FILO COTTO 16	T	0,025	3.000,00		75,00	22

Figura 6 – Estratto del “Documento di trasporto relativo alla fornitura di acciaio”

Nel caso della fornitura di calcestruzzo (*Figura 7*), il documento permette invece di identificare la miscela consegnata in cantiere, riportando le caratteristiche tecniche del materiale, come classe di resistenza, consistenza e dimensione massima dell'aggregato. Nel caso specifico viene riportata la consegna di calcestruzzo C28/35 S4 D32, insieme alla quantità fornita espressa in metri cubi.

Numero di bolla 822/26	Data 13-03-2026	Causale del trasporto Vendita	Trasporto a carico Nostro	a cura del Vettore	Aspetto esteriore dei beni A vista
[REDACTED]		Codice L54		Certificazioni Certificato FPC Nr 0237 ISO 9001-2015 [REDACTED]	
Caricatore [REDACTED]		DESTINATARIO			
CLIENTE - Cessionario [REDACTED] 61122 PESARO Luogo di destinazione [REDACTED]		Codice P.IVA/c.f. [REDACTED] (PU) Punto di consegna [REDACTED]		PLINTI Variazioni	
TRASPORTATORE [REDACTED]		Codice [REDACTED]		Incaricato del trasporto	
Autobetoniera	Targa	Carico ridotto	km	m s.l.m.	Radiale / Fascia
[REDACTED]		[REDACTED]		[REDACTED]	
PRODOTTO 30R354C9		Nome U35D		U.M. m³	Quantità 10.00
Descrizione Cls Basic C28/35 a/c max 0.60 S4 D32					
CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CALCESTRUZZO					
CLASSE DI RESISTENZA	A COMPOSIZIONE RICHIESTA	CLASSE E TIPO DI CEMENTO	DIAMETRO MASSIMO S	CLASSE DI CONSISTENZA	CLASSE DI ESPOSIZIONE
C28/35			32	S4	XC2
					CLASSE DI CLORURI Cl 0.4

Figura 7 – Estratto del “Documento di trasporto relativo alla fornitura di calcestruzzo”

Le informazioni contenute nei documenti di trasporto risultano fondamentali anche per le successive attività di controllo e contabilità del cantiere, in quanto permettono di confrontare le quantità pianificate con quelle realmente consegnate, supportando la verifica dell'avanzamento delle lavorazioni e la gestione economica delle forniture.

L'analisi della documentazione ha consentito di individuare informazioni fondamentali per la gestione delle forniture, tra cui:

- Quantità di materiali
- Tipologia delle lavorazioni
- Tempistiche operative
- Sequenza delle attività
- Soggetti coinvolti nel processo

Particolare attenzione è stata posta al collegamento tra documentazione tecnica e attività operative, al fine di comprendere come le informazioni vengano utilizzate dalle figure tecniche coinvolte nella gestione delle forniture.

2.3 Analisi del processo operativo e dei flussi informativi

A partire dalla documentazione acquisita e dal confronto diretto con l'impresa è stato possibile ricostruire il processo operativo adottato per la gestione delle forniture relative alle lavorazioni di fondazione.

L'analisi effettuata ha evidenziato come tale processo sia basato sull'interazione tra diversi soggetti coinvolti, tra cui gruppo di progettazione, capo commessa, tecnico di cantiere e fornitori. Ogni figura interviene in una fase specifica del processo, utilizzando e scambiando le informazioni necessarie per organizzare correttamente le lavorazioni.

Nel caso studio analizzato, l'approvvigionamento dei materiali riguarda principalmente due forniture:

- Calcestruzzo strutturale CLS C28/35 classe S4
- Acciaio per cemento armato B450C

Tali materiali sono stati individuati attraverso l'analisi del computo metrico estimativo e della documentazione strutturale di progetto e rappresentano gli elementi principali necessari alla realizzazione delle fondazioni su plinti a bicchiere.

La gestione di queste forniture richiede l'integrazione di informazioni provenienti da differenti documenti. Gli elaborati esecutivi consentono di comprendere le lavorazioni previste, il computo metrico estimativo permette di individuare quantità e tipologia dei materiali necessari, mentre il cronoprogramma fornisce indicazioni sulle tempistiche di esecuzione delle attività.

Le informazioni raccolte vengono quindi utilizzate dalle figure tecniche coinvolte per programmare gli approvvigionamenti, elaborare le richieste ai fornitori e coordinare le consegne in funzione dell'avanzamento del cantiere.

L'analisi del processo ha evidenziato come una parte significativa delle attività sia caratterizzata dalla ricerca, interpretazione e integrazione di informazioni distribuite all'interno di diversi documenti. Tale aspetto ha rappresentato il punto di partenza per la successiva modellazione BPMN del processo e per l'individuazione dei sub processi oggetto di automazione.

2.4 Considerazioni preliminari alla modellazione BPMN

L'analisi della documentazione tecnica e del processo operativo ha permesso di definire una visione complessiva delle attività e degli scambi informativi necessari alla gestione delle forniture relative alle lavorazioni di fondazione.

Prima di procedere alla modellazione BPMN è stato quindi necessario individuare gli elementi principali del processo, distinguendo le figure coinvolte, le attività svolte, i documenti utilizzati e le informazioni scambiate tra i diversi soggetti.

Questa fase di analisi preliminare ha consentito di trasformare il processo operativo reale in una struttura rappresentabile attraverso il linguaggio BPMN, mantenendo una corrispondenza con le modalità organizzative adottate dall'impresa nel caso studio.

La modellazione sviluppata nel capitolo successivo rappresenta quindi il punto di partenza per analizzare in maniera strutturata il processo e individuare le attività informative sulle quali valutare l'applicazione di strumenti di automazione.

CAPITOLO 3 - MODELLAZIONE BPMN DEL PROCESSO.

3.1 Introduzione alla modellazione BPMN

La rappresentazione dei processi costituisce uno strumento fondamentale per analizzare l'organizzazione delle attività operative, individuare le interazioni tra i soggetti coinvolti e descrivere il percorso seguito dalle informazioni all'interno di un sistema gestionale.

Nel settore delle costruzioni, la gestione di un processo coinvolge frequentemente differenti figure professionali e richiede il coordinamento di informazioni provenienti da diverse fonti documentali. Per tale motivo, una rappresentazione strutturata del processo permette di evidenziare le attività svolte, i passaggi decisionali e gli scambi informativi necessari allo svolgimento delle lavorazioni.

Nel presente lavoro è stata utilizzata la notazione BPMN (Business Process Model and Notation) per modellare il processo relativo alla gestione delle forniture nelle lavorazioni di fondazione. Il modello sviluppato rappresenta le attività operative, gli attori coinvolti mediante apposite corsie di responsabilità denominate "*Lane*", gli eventi principali, i punti decisionali e i flussi di comunicazione tra le diverse figure.

La modellazione realizzata costituisce la base per l'individuazione dei sub processi caratterizzati da una maggiore gestione delle informazioni, successivamente analizzati per lo sviluppo dei workflow automatizzati.

3.2 Definizione del processo generale

Il processo analizzato riguarda la gestione delle forniture relative alle lavorazioni di fondazione, con particolare riferimento alle attività che precedono l'approvvigionamento dei materiali necessari alle lavorazioni di cantiere.

Il processo prende avvio dalla consultazione della documentazione tecnica ed esecutiva e dalla verifica delle lavorazioni previste dal cronoprogramma, proseguendo con l'individuazione dei materiali necessari, la definizione delle quantità e l'elaborazione delle richieste di fornitura attraverso l'integrazione delle informazioni quantitative contenute nel computo metrico estimativo.

Le attività risultano distribuite tra differenti figure tecniche coinvolte nel processo operativo, le quali interagiscono continuamente mediante scambio di informazioni e consultazione dei documenti tecnici.

3.3 Attori coinvolti nei flussi informativi

L'analisi del processo ha permesso di individuare le principali figure coinvolte nella gestione delle forniture e i relativi scambi informativi necessari allo svolgimento delle attività operative.

All'interno della modellazione BPMN, i soggetti coinvolti sono stati rappresentati attraverso specifiche corsie di responsabilità, con l'obiettivo di evidenziare il ruolo svolto da ciascun attore, le attività di competenza e le interazioni presenti durante il processo.

Le principali figure individuate all'interno del processo sono:

Il gruppo di progetto il quale si occupa della produzione e della gestione della documentazione tecnica necessaria allo sviluppo delle lavorazioni, tra cui elaborati esecutivi, documentazione progettuale, deposito al genio civile e ottenimento dei relativi titoli autorizzativi.

Il capo commessa e l'impresa svolgono attività legate alla gestione organizzativa ed economica del processo di approvvigionamento, occupandosi dei rapporti con i fornitori, della richiesta dei preventivi e della definizione contrattuale delle forniture necessarie alle lavorazioni previste.

I fornitori rappresentano i soggetti esterni coinvolti nell'approvvigionamento dei materiali necessari all'esecuzione delle lavorazioni. Nel caso studio analizzato, le principali forniture riguardano il calcestruzzo strutturale CLS C28/35 e l'acciaio B450C, individuati a partire dalle informazioni contenute nel computo metrico estimativo e nella documentazione strutturale esecutiva.

Il tecnico di cantiere che si occupa della gestione operativa delle forniture attraverso la verifica delle lavorazioni imminenti, l'elaborazione delle richieste ai fornitori, il coordinamento delle consegne in funzione delle tempistiche previste e più in generale del controllo operativo necessario al corretto avanzamento delle attività di cantiere.

L'interazione tra le differenti figure avviene attraverso lo scambio di informazioni derivanti dalla consultazione e dall'elaborazione della documentazione tecnica disponibile.

I principali documenti utilizzati al successivo sviluppo dei flussi risultano essere:

- elaborati esecutivi strutturali
- computo metrico estimativo
- cronoprogramma.

Da tali documenti vengono ricavate le informazioni necessarie per collegare le lavorazioni previste, le quantità di materiale richieste e la pianificazione temporale delle attività.

Non tutti i documenti analizzati nella fase iniziale di acquisizione dati sono risultati direttamente necessari ai fini dello sviluppo dei workflow. L'implementazione dei sub processi si è infatti concentrata sugli elaborati maggiormente coinvolti nella gestione delle forniture.

Gli altri documenti analizzati mantengono comunque un ruolo fondamentale nella gestione complessiva del cantiere e nella definizione del processo operativo, pur non rappresentando una fonte informativa direttamente utilizzata nei flussi di lavoro sviluppati.

3.4 Modellazione BPMN del processo di realizzazione delle fondazioni

La modellazione del processo è stata sviluppata utilizzando gli elementi caratteristici della notazione BPMN. Le attività operative sono state rappresentate mediante “*task*”, le condizioni decisionali attraverso “*gateway*”, mentre i collegamenti tra gli elementi permettono di descrivere la sequenza delle operazioni e il trasferimento delle informazioni tra i diversi attori coinvolti.

La suddivisione del modello in corsie di responsabilità consente inoltre di associare ogni attività alla figura incaricata della sua esecuzione, rendendo più chiara l’organizzazione del processo e le interazioni tra i soggetti coinvolti.

3.4.1 Lane relativa al gruppo di progetto

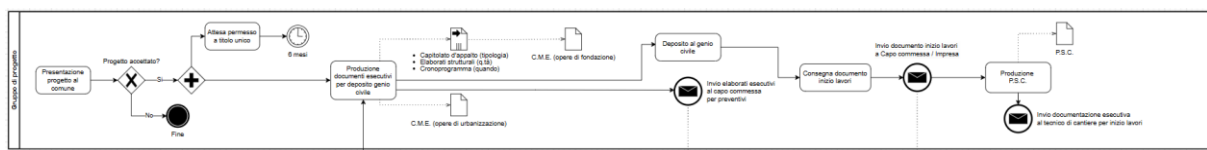


Figura 8 - Lane Gruppo di progetto da BPMN_Fondazioni

La lane relativa al gruppo di progetto rappresenta le attività iniziali del processo, a partire dalla presentazione del progetto al comune e dalla successiva fase di approvazione. Una volta ottenuta l’approvazione del progetto, il processo prevede un periodo di attesa per il rilascio del permesso a titolo unico, stimato in circa sei mesi, durante il quale vengono prodotti gli elaborati esecutivi necessari alla realizzazione dell’opera.

In questa fase vengono sviluppati i principali documenti tecnici di progetto, tra cui elaborati strutturali, relazione tecnica, computo metrico estimativo, capitolato speciale d’appalto e cronoprogramma delle lavorazioni. Gli elaborati strutturali vengono successivamente depositati presso il genio civile, mentre la documentazione tecnica prodotta viene trasmessa al capo commessa e all’impresa esecutrice per le successive attività operative.

La fase conclusiva della lane riguarda la gestione della documentazione necessaria all'avvio dei lavori. In particolare, viene ricevuto e trasmesso il documento di inizio lavori e viene redatto il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), successivamente inviato al tecnico di cantiere per la gestione della fase esecutiva.

3.4.2 Lane relativa al capo commessa ed Impresa

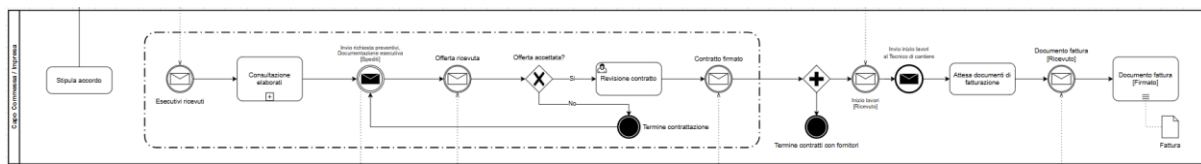


Figura 9 - Lane Capo commessa/Impresa da BPMN_Fondazioni

La lane relativa al capo commessa e all'Impresa rappresenta la fase di gestione operativa successiva alla produzione della documentazione progettuale. Il processo inizia con la stipula dell'accordo e con la ricezione degli elaborati esecutivi trasmessi dal gruppo di progetto, necessari per l'organizzazione delle attività di cantiere.

A seguito della ricezione della documentazione, viene effettuata la consultazione degli elaborati (*vedi paragrafo 4.2*) e viene avviata la fase di richiesta dei preventivi ai fornitori. Le offerte ricevute vengono analizzate e valutate: nel caso in cui l'offerta venga accettata si procede con la revisione e la firma del contratto di fornitura (*Figura 5 e Figura 6*), mentre in caso contrario il processo di contrattazione termina.

Una volta conclusa la fase contrattuale con i fornitori, il processo prosegue con la ricezione della comunicazione di inizio lavori e il relativo invio al tecnico di cantiere. Durante la fase esecutiva, il capo commessa e l'impresa gestiscono inoltre la documentazione economica relativa alle forniture, attraverso la ricezione e la verifica dei documenti di fatturazione da firmare (*Figura 7 e Figura 8*).

3.4.3 Lane relativa ai fornitori

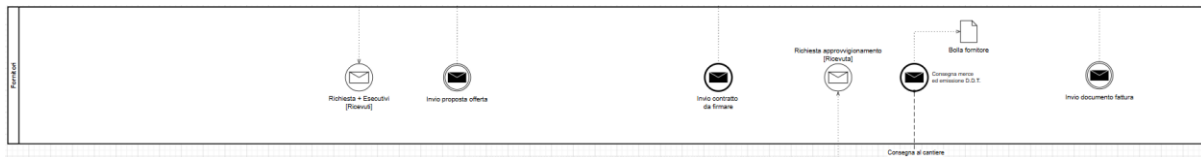


Figura 10 - Lane Fornitori da BPMN_Fondazioni

La lane relativa ai Fornitori rappresenta l'interazione tra l'impresa e i soggetti esterni incaricati dell'approvvigionamento dei materiali necessari alle lavorazioni. Essendo un processo esterno rispetto all'organizzazione interna dell'impresa, la modellazione si concentra principalmente sugli scambi informativi e documentali tra le parti.

Il processo inizia con la ricezione della richiesta di preventivo proveniente dal Capo Commessa/Impresa, a seguito della quale il fornitore elabora e trasmette la propria proposta di offerta. In caso di accettazione dell'offerta, il fornitore riceve il contratto definitivo e procede alla firma della documentazione necessaria.

Durante la fase esecutiva, il fornitore riceve le richieste di approvvigionamento dei materiali e gestisce la consegna in cantiere, accompagnata dall'emissione della relativa documentazione di trasporto (DDT) (Figura 7 e Figura 8). La fase si conclude con l'invio della documentazione di fatturazione all'impresa per la gestione amministrativa della fornitura.

3.4.4 Lane relativa al tecnico di cantiere

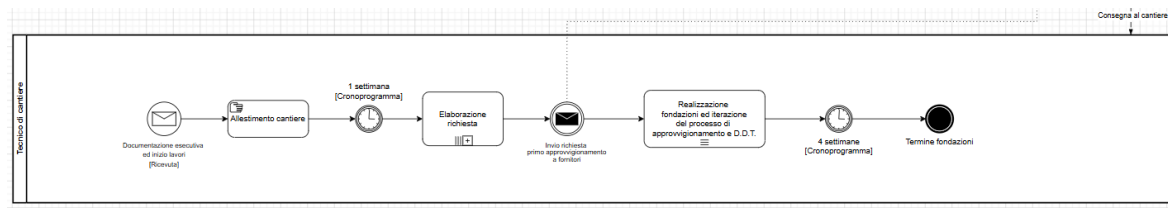


Figura 11- Lane Tecnico di cantiere da BPMN_Fondazioni

La lane relativa al tecnico di cantiere rappresenta la fase operativa di esecuzione delle lavorazioni. Il processo ha inizio con la ricezione della documentazione tecnica esecutiva trasmessa dal gruppo di progetto, necessaria per l'organizzazione delle attività in cantiere.

Successivamente viene avviata la fase di allestimento del cantiere, prevista dal cronoprogramma con una durata di circa una settimana (Figura 1). Terminata questa fase, il tecnico di cantiere procede con l'elaborazione delle prime richieste di approvvigionamento ai fornitori (vedi paragrafo 4.6), sulla base delle lavorazioni programmate e dei materiali necessari alla loro esecuzione.

Una volta ricevuti i materiali richiesti, accompagnati dalla relativa documentazione di trasporto (DDT), vengono avviate le lavorazioni relative alla realizzazione delle fondazioni. Tale fase, secondo quanto previsto dal cronoprogramma analizzato, presenta una durata stimata di quattro settimane (Figura 1) e rappresenta la conclusione del processo per la realizzazione di opere di fondazione.

3.5 Individuazione dei sub processi critici

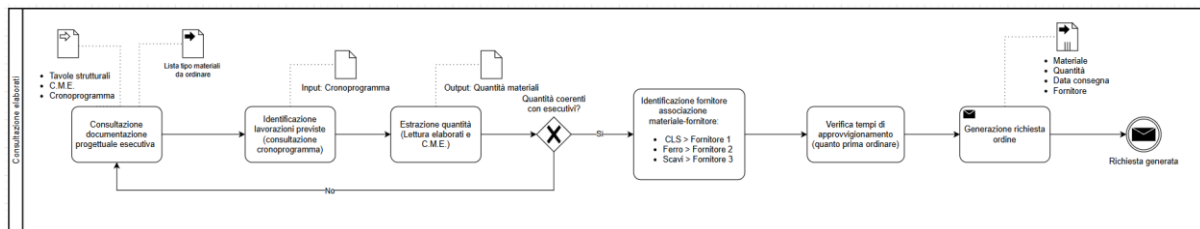


Figura 12 – Estratto da BPMN_Consultazione elaborati

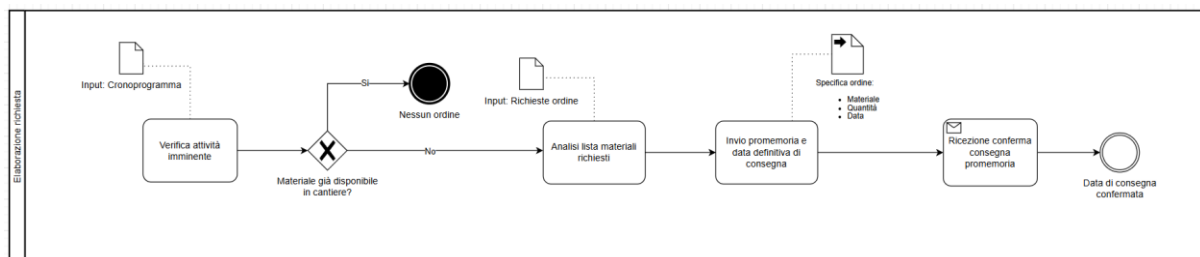


Figura 13 – Estratto da BPMN_Elaborazione richiesta

L'analisi del processo modellato ha consentito di individuare alcuni sub processi caratterizzati da una significativa componente informativa e da attività ripetitive potenzialmente automatizzabili.

La scelta dei sub processi da progettare è stata effettuata considerando principalmente il livello di gestione delle informazioni richiesto, la ripetitività delle operazioni e la necessità di integrare dati provenienti da differenti documenti tecnici.

In particolare, sono stati individuati due sub processi ritenuti particolarmente significativi ai fini dello sviluppo di flussi standardizzati:

- Sub processo di consultazione degli elaborati esecutivi, associato alla figura del capo commessa (Figura 12)
- Sub processo di elaborazione delle richieste di fornitura, associato alla figura del tecnico di cantiere (Figura 13)

Entrambi i sub processi risultano fortemente basati sull'interpretazione dei documenti tecnici, sulla verifica delle informazioni operative e sulla gestione delle comunicazioni necessarie all'approvvigionamento dei materiali. Per tale motivo, essi sono stati successivamente selezionati come base per lo sviluppo di flussi standardizzati implementati mediante la piattaforma n8n.

3.6 Considerazioni preliminari sui flussi standardizzati

La modellazione BPMN sviluppata ha evidenziato come una parte significativa delle attività informative coinvolte nella gestione delle forniture risulti caratterizzata da procedure manuali, ripetitive e fortemente dipendenti dall'esperienza delle figure tecniche coinvolte.

In particolare, la continua consultazione dei documenti tecnici e la necessità di integrare informazioni provenienti da differenti fonti rendono tali attività idonee all'implementazione mediante flussi standardizzati.

L'individuazione dei sub processi maggiormente ripetitivi ha quindi costituito la base per la successiva implementazione dei flussi, sviluppati con l'obiettivo di supportare le figure tecniche nell'analisi delle informazioni e nella gestione operativa delle richieste ai fornitori.

CAPITOLO 4 – FLUSSI DI LAVORO STANDARDIZZATI

4.1 Introduzione ai flussi di lavoro standardizzati

A partire dai sub processi individuati nella modellazione BPMN (*Figura 12 e Figura 13*), sono stati sviluppati due workflow automatizzati mediante la piattaforma n8n [6][7], con l'obiettivo di supportare le attività informative e operative legate alla gestione delle forniture di cantiere.

La configurazione dei workflow e l'utilizzo delle principali funzionalità della piattaforma sono stati approfonditi attraverso la documentazione disponibile online e materiale formativo dedicato allo sviluppo di automazioni tramite n8n [8].

I workflow sviluppati riguardano:

- Il processo di approvvigionamento materiali
- Il monitoraggio operativo delle lavorazioni e delle forniture

Entrambi i sistemi si basano sull'integrazione tra cronoprogramma, computo metrico estimativo ed elaborati strutturali al fine di automatizzare parte delle attività di consultazione documenti, organizzazione delle informazioni e gestione delle comunicazioni operative.

Nei paragrafi successivi verranno descritti i workflow sviluppati, le logiche implementate e le principali verifiche effettuate durante la fase di sviluppo.

4.2 Workflow di consultazione elaborati

Il workflow è stato progettato con l'obiettivo di supportare la fase di pianificazione degli approvvigionamenti relativi alle lavorazioni di fondazione, automatizzando alcune attività di consultazione ed elaborazione delle informazioni contenute nella documentazione tecnica di progetto.

In particolare, il sistema consente di analizzare la documentazione esecutiva disponibile, individuare le lavorazioni previste, estrarre le informazioni relative alle quantità e alle tipologie di materiali necessari e associare tali materiali ai rispettivi fornitori.

Le informazioni ottenute vengono successivamente utilizzate per predisporre le richieste di approvvigionamento, simulando il processo svolto dal capo commessa nelle prime fasi di organizzazione degli ordini e dei preventivi.

La documentazione utilizzata come input del processo comprende:

- Cronoprogramma
- Computo metrico estimativo
- Elaborati strutturali

Tali documenti rappresentano le principali fonti informative normalmente consultate durante la fase di organizzazione delle forniture.

Per simulare l'intero processo di approvvigionamento è stata inoltre introdotta una lista di fornitori fittizi (*Figura 14*), associando ciascun fornitore ad una specifica categoria di materiale. In particolare, per il caso studio analizzato, il workflow è stato configurato per individuare automaticamente i fornitori relativi alle due principali forniture necessarie alla realizzazione delle fondazioni:

- Calcestruzzo strutturale CLS C28/35 classe S4
- Acciaio per cemento armato B450C

ID	Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale Associato
1	SteelWorks Italia	Lavorazione acciaio	Acciaio B450C
2	Prefab System	Strutture prefabbricate	Prefabbricati in c.a.
3	FerroTech Group	Carpenteria metallica	Acciaio strutturale
4	InfisPro	Serramenti e infissi	Infissi in alluminio
5	GlassVision	Facciate continue	Vetro strutturale
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C25/35
7	HydroWall	Impermeabilizzazioni	Guaina bituminosa
8	Impiantix	Impianti tecnologici	Tubazioni impianto
9	LaterMix	Materiali murari	Blocchi in laterizio
10	Pavinord	Pavimentazioni industriali	Pavimentazione industriale
11	RoofLine	Coperture e lattonerie	Pannelli copertura
12	EcoPanel	Tamponamenti prefabbricati	Pannelli prefabbricati
13	GeoDrain	Opere drenanti	Tubazioni drenaggio
14	WoodFrame Italia	Strutture in legno	Travi lamellari
15	BetonRapid	Fornitura CLS	CLS alleggerito

Figura 14 – Lista dei fornitori

I fornitori evidenziati rappresentano quelli che il sistema dovrebbe individuare automaticamente in funzione della tipologia di materiale necessario alla realizzazione delle fondazioni.

I documenti utilizzati per lo sviluppo e la verifica del workflow sono stati opportunamente anonimizzati eliminando eventuali dati sensibili presenti nella documentazione originale.

4.3 Struttura del workflow

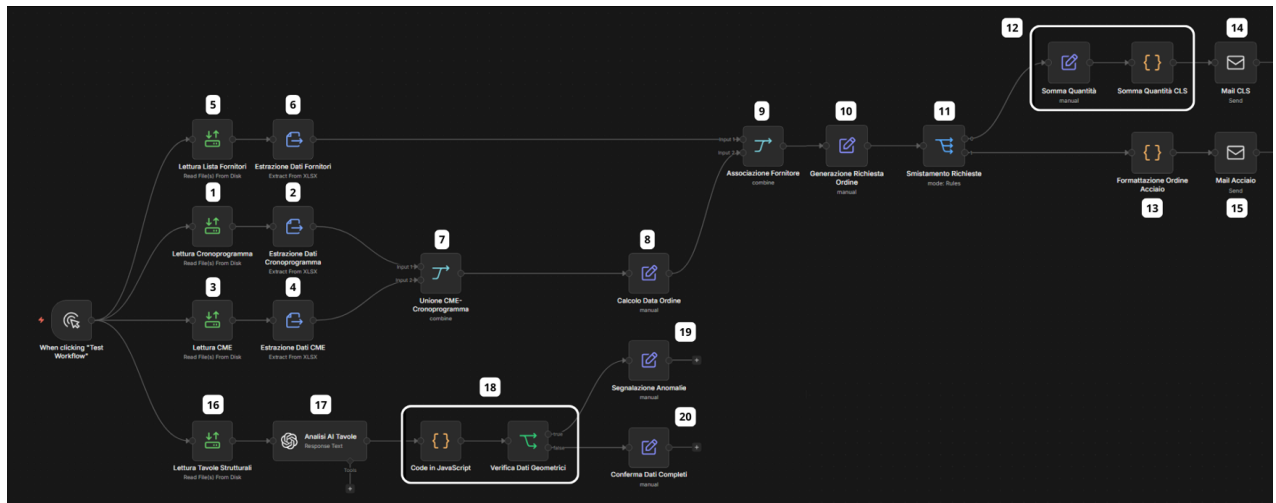


Figura 15 – Workflow di consultazione elaborati con identificazione numerica dei nodi

La *Figura 15* mostra la struttura complessiva del workflow sviluppato per la consultazione degli elaborati tecnici. I diversi nodi sono stati numerati seguendo l'ordine logico di esecuzione del processo, in modo da consentire un collegamento diretto tra la rappresentazione grafica del workflow e la descrizione tecnica delle singole operazioni implementate.

Il processo può essere suddiviso in differenti fasi operative: una prima fase di acquisizione ed estrazione delle informazioni provenienti dal cronoprogramma, dal computo metrico estimativo e dalla lista fornitori; una fase intermedia dedicata all'integrazione dei dati e alla generazione delle richieste di approvvigionamento; una fase finale relativa allo smistamento delle comunicazioni ai fornitori e alla verifica delle informazioni contenute negli elaborati strutturali.

Di seguito vengono analizzati nel dettaglio i singoli nodi che compongono il workflow, indicando per ciascuno la funzione svolta, i principali parametri configurati, gli input ricevuti e gli output generati.

Nodo 1 - Lettura del Cronoprogramma

Il Nodo 1 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Read File(s) From Disk*” utilizzato per l’acquisizione del cronoprogramma delle lavorazioni all’interno del flusso automatizzato. Il nodo permette di importare il file Excel precedentemente archiviato nel percorso locale configurato (*Figura 16*), senza effettuare modifiche o elaborazioni sul contenuto del documento. L’obiettivo di questa fase è rendere disponibili i dati del cronoprogramma ai nodi successivi del workflow, dedicati all’estrazione e all’analisi delle informazioni relative alla programmazione temporale delle lavorazioni.

Tabella 1: Caratteristiche Nodo 1 di Figura 15

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk
Funzione	Acquisizione del file contenente il cronoprogramma delle lavorazioni
Input	File Excel del cronoprogramma presente nel percorso locale configurato
Parametri impostati	Percorso locale del file; modalità di lettura del documento in formato .xlsx
Output	File del cronoprogramma importato nel workflow e disponibile per le successive elaborazioni

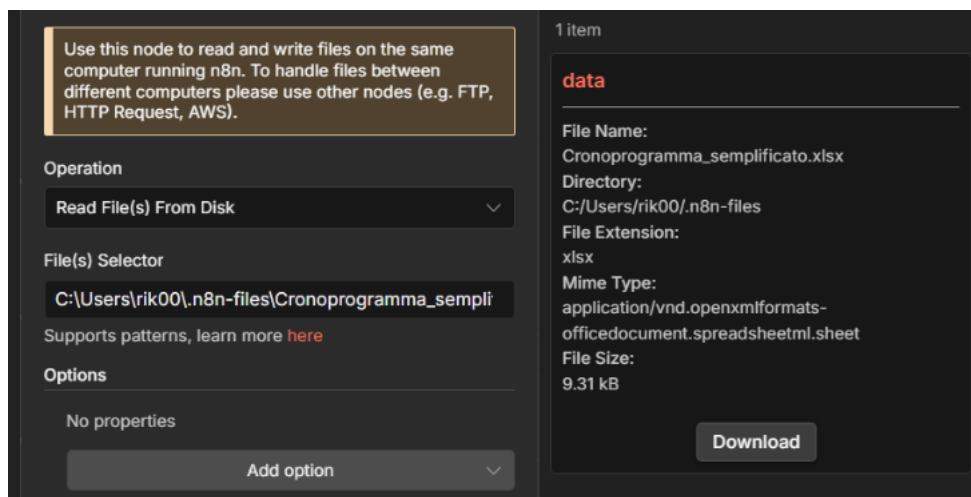


Figura 16 – Configurazione del nodo “Lettura del Cronoprogramma” e output generato

Nodo 2 - Estrazione dei dati dal Cronoprogramma

Il Nodo 2 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Extract From XLSX*” utilizzato per l’elaborazione del file Excel acquisito nel nodo precedente (*Nodo 1*). Il nodo permette di trasformare il contenuto del cronoprogramma (*Figura 1*) in un formato strutturato utilizzabile all’interno del workflow, estraendo le informazioni relative alle lavorazioni previste e alla loro pianificazione temporale. I dati ottenuti, come codici WBS, codici delle lavorazioni, descrizioni, durate e date di esecuzione (*Figura 17*) costituiscono la base informativa utilizzata nelle successive fasi di analisi e collegamento con gli altri documenti di progetto.

Tabella 2: Caratteristiche Nodo 2 di Figura 15

Tipologia nodo	Extract From XLSX
Funzione	Estrazione e strutturazione dei dati contenuti nel cronoprogramma delle lavorazioni
Input	File .xlsx proveniente dal Lettura del Cronoprogramma
Parametri impostati	WBS, codice lavorazione, descrizione, durata, data di inizio e data di fine
Output	Tabella strutturata contenente le lavorazioni previste e le relative informazioni temporali

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026

Figura 17 – Output generato dal nodo “Estrazione dati dal Cronoprogramma”

Nodo 3 - Lettura del Computo metrico estimativo

Il Nodo 3 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Read File(s) From Disk*” utilizzato per l’acquisizione del computo metrico estimativo relativo alle lavorazioni analizzate. Il nodo permette di importare il file Excel precedentemente archiviato nel percorso locale configurato, senza effettuare modifiche o elaborazioni sul contenuto del documento. L’obiettivo di questa fase è rendere disponibili i dati contenuti nel computo metrico ai nodi successivi del workflow, dedicati all’estrazione delle informazioni relative alle lavorazioni, alle quantità e alle tipologie di materiali previste dal progetto. L’output (*Figura 18*) rende disponibili i dati al successivo nodo di estrazione delle informazioni.

Tabella 3: Caratteristiche Nodo 3 di Figura 15

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk
Funzione	Acquisizione del file contenente il computo metrico estimativo
Input	File Excel del computo metrico presente nel percorso locale configurato
Parametri impostati	Percorso locale del file da acquisire; modalità di lettura del documento in formato .xlsx
Output	File del computo metrico estimativo importato nel workflow e disponibile per le successive elaborazioni

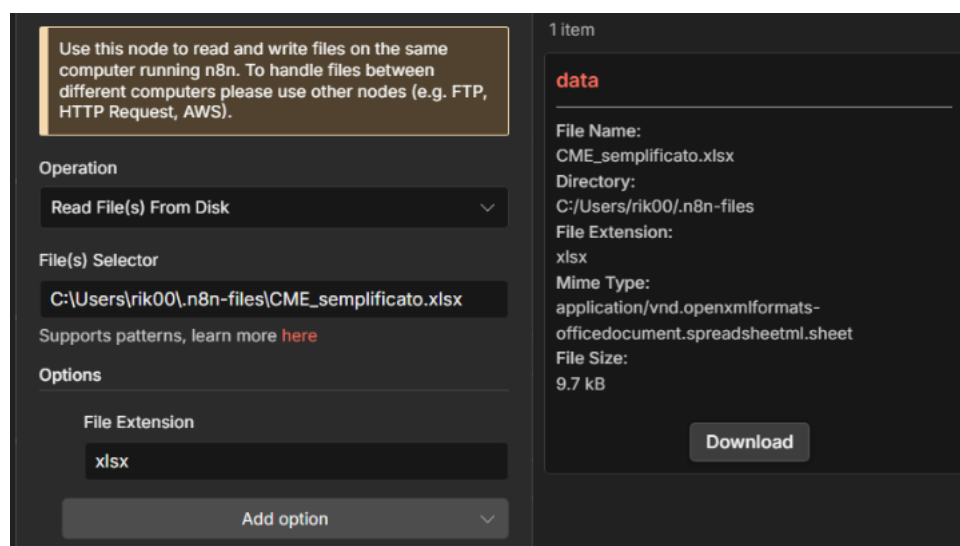


Figura 18 – Configurazione del nodo “Lettura del Computo metrico estimativo” e output generato

Nodo 4 - Estrazione dei dati dal computo metrico estimativo

Il Nodo 4 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Extract From XLSX*” utilizzato per l’elaborazione del computo metrico estimativo acquisito nella fase precedente. Il nodo permette di trasformare il contenuto del documento Excel in una struttura dati organizzata, rendendo disponibili al workflow le informazioni relative alle lavorazioni previste, alle quantità di materiale richieste e ai dati economici associati. Nel caso studio analizzato, l’estrazione è stata focalizzata sui materiali necessari alla realizzazione delle fondazioni, in particolare calcestruzzo strutturale CLS C28/35 e acciaio per cemento armato B450C (*Figura 4*). L’output ottenuto (*Figura 19*) rappresenta la base informativa utilizzata nelle successive fasi del workflow per collegare le quantità di materiale previste con la programmazione temporale delle lavorazioni.

Tabella 4: Caratteristiche Nodo 4 di Figura 15

Tipologia nodo	Extract From XLSX
Funzione	Estrazione e organizzazione delle informazioni contenute nel computo metrico estimativo
Input	File .xlsx del computo metrico proveniente dal nodo Lettura del Computo metrico estimativo
Parametri impostati	WBS, codice lavorazione, descrizione, quantità, materiale, prezzo unitario e importo totale
Output	Tabella strutturata contenente lavorazioni, codici, quantità, materiali richiesti e dati economici associati

WBS	Codice	Lavorazione	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	66,861 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.889,598
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	132,84 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 15.675,12
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	67,743 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.993,674
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	54,4 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 6.419,20
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	49,2 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 5.805,60
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	72000 kg	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400

Figura 19 – Output generato dal nodo “Estrazione dei dati dal Computo metrico”

Nodo 5 e 6 – Lettura della lista dei fornitori + Estrazione dei dati sui fornitori

I Nodi 5 e 6 del workflow (*Figura 15*) sono rispettivamente di tipo “*Read File(s) From Disk*” ed “*Extract From XLSX*” e hanno la funzione di acquisire ed elaborare il file Excel contenente la lista dei fornitori disponibili (*Figura 14*). Il primo nodo permette l’importazione del documento all’interno del workflow, mentre il secondo esegue l’estrazione delle informazioni presenti nella tabella, trasformando il contenuto del file in dati strutturati. La lista fornitori viene utilizzata per associare automaticamente i materiali individuati nel computo metrico estimativo alle relative aziende fornitrici, simulando la fase di selezione del fornitore all’interno del processo di approvvigionamento. L’output generato (*Figura 20*) consiste in una tabella strutturata contenente i fornitori disponibili, la tipologia di fornitura gestita e il materiale associato, informazioni successivamente utilizzate nelle fasi di collegamento tra materiali e fornitori.

Tabella 5: Caratteristiche Nodo 5 e 6 di Figura 15

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk + Extract From XLSX
Funzione	Acquisizione ed estrazione delle informazioni contenute nella lista fornitori
Input	File Excel contenente l’elenco dei fornitori disponibili
Parametri impostati	Percorso locale del file; lettura documento in formato .xlsx; estrazione di ID fornitore, nome fornitore, tipologia di fornitura e materiale associato
Output	Tabella strutturata contenente la corrispondenza tra fornitori e materiali gestiti

ID	Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale Associato
1	SteelWorks Italia	Lavorazione acciaio	Acciaio B450C
2	Prefab System	Strutture prefabbricate	Prefabbricati in c.a.
3	FerroTech Group	Carpenteria metallica	Acciaio strutturale
4	InfisPro	Serramenti e infissi	Infissi in alluminio
5	GlassVision	Facciate continue	Vetro strutturale
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35
7	HydroWall	Impermeabilizzazioni	Guaina bituminosa
8	Implantix	Impianti tecnologici	Tubazioni impianto

Figura 20 – Output generato dai nodi “Lettura della lista dei fornitori” ed “Estrazione dei dati sui fornitori”

Nodo 7 – Unione del computo metrico estimativo con il cronoprogramma

Il Nodo 7 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “Merge” utilizzato per integrare le informazioni provenienti dal computo metrico estimativo e dal cronoprogramma delle lavorazioni. La funzione del nodo è quella di combinare i dati tecnici ed economici relativi ai materiali e alle quantità previste con le informazioni temporali associate alle diverse attività di cantiere. Il nodo riceve quindi due flussi di dati distinti: il primo contenente le informazioni estratte dal computo metrico estimativo, relative a lavorazioni, materiali e quantità necessarie, e il secondo contenente le date di inizio e fine delle attività previste dal cronoprogramma. L’unione viene effettuata attraverso la modalità “Combine”, che permette di ottenere una struttura dati unica contenente le informazioni necessarie alla pianificazione degli approvvigionamenti. L’output generato (*Figura 21*) è costituito da una tabella strutturata in cui ogni lavorazione risulta associata ai materiali richiesti, alle quantità previste e alle relative tempistiche di esecuzione.

Tabella 6: Caratteristiche Nodo 7 di Figura 15

Tipologia nodo	Merge
Funzione	Unione delle informazioni provenienti dal computo metrico estimativo e dal cronoprogramma
Input	Dati relativi a lavorazioni, materiali e quantità; dati temporali associati alle lavorazioni
Parametri impostati	Modalità combine per combinare i due flussi informativi sulla base delle lavorazioni analizzate
Output	Tabella unica contenente lavorazioni, materiali, quantità previste e date di esecuzione

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine	Lavorazione	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T1	66,861 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.889,598
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T2	132,84 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 15.675,12
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T3	67,743 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.993,674
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 longitudinali	54,4 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 6.419,20
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 trasversali	49,2 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 5.805,60
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026	Armature fondazioni	72000 kg	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400

Figura 21 – Output generato dal nodo “Unione del computo metrico con il cronoprogramma”

Nodo 8 – Calcolo della data dell'ordine

Il Nodo 8 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per determinare automaticamente la data prevista per effettuare la richiesta di approvvigionamento dei materiali. Il nodo elabora le informazioni temporali provenienti dal cronoprogramma, precedentemente associate ai materiali necessari tramite l'unione con il computo metrico estimativo, collegando così la programmazione delle lavorazioni con la pianificazione degli ordini. L'elaborazione avviene attraverso la creazione di un nuovo campo denominato “*Data ordine*”, ottenuto anticipando la data di inizio della lavorazione di un intervallo temporale definito. Nel workflow sviluppato è stato impostato un anticipo pari a sette giorni rispetto all'avvio previsto dell'attività, in modo da programmare preventivamente la richiesta del materiale necessario.

Tabella 7: Caratteristiche Nodo 8 di Figura 15

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Calcolo automatico della data prevista per la richiesta di approvvigionamento dei materiali
Input	Dataset proveniente dall'unione tra computo metrico estimativo e cronoprogramma, contenente lavorazioni, materiali, quantità e date di esecuzione
Parametri impostati	Creazione del campo “ <i>Data ordine</i> ” con anticipo di sette giorni rispetto alla data di inizio lavorazione
Output	Dataset aggiornato con l'aggiunta della data prevista di ordine del materiale

L'output generato (*Figura 22*) consiste nel dataset aggiornato contenente, oltre alle informazioni relative a lavorazioni, materiali e quantità, anche la data prevista per effettuare la richiesta di approvvigionamento.

6 items

Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine	Lavorazione	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.	Data Ordine
Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T1	66,861 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.889,598	21/03/2026
Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T2	132,84 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 15.675,12	21/03/2026
Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T3	67,743 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.993,674	21/03/2026
Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 longitudinali	54,4 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 6.419,20	21/03/2026
Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 trasversali	49,2 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 5.805,60	21/03/2026
Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026	Armature fondazioni	72000 kg	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400	21/03/2026

Figura 22 – Output generato dal nodo “Calcolo della data dell’ordine”

Nodo 9 – Associazione dei dati ai fornitori

Il Nodo 9 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “Merge” utilizzato per associare automaticamente ciascun materiale necessario alla realizzazione delle lavorazioni con il relativo fornitore disponibile. Il nodo integra le informazioni provenienti dal processo di pianificazione degli approvvigionamenti (*Nodo 8*) con i dati contenuti nella lista fornitori (*Figura 14*), permettendo di collegare ogni materiale individuato nel computo metrico estimativo all’azienda incaricata della relativa fornitura. L’associazione viene effettuata attraverso la modalità “Combine”, confrontando il campo relativo al materiale richiesto con il campo corrispondente presente nella lista fornitori. In questo modo il workflow è in grado di individuare automaticamente il fornitore associato alla specifica tipologia di materiale.

Tabella 8: Caratteristiche Nodo 9 di Figura 15

Tipologia nodo	Merge
Funzione	Associazione automatica tra materiali richiesti e relativi fornitori
Input	Dataset contenente lavorazioni, materiali, quantità e date di ordine; lista fornitori con materiali associati
Parametri impostati	Modalità combine tramite confronto tra campo “Materiale” e campo “Materiale associato”
Output	Dataset integrato contenente lavorazione, materiale, quantità, data di ordine e fornitore associato

L'output generato (*Figura 23*) consiste in un dataset completo contenente le informazioni relative alla lavorazione prevista, al materiale necessario, alla quantità richiesta, alla data programmata per l'ordine e al fornitore associato. Tale risultato viene utilizzato dai nodi successivi per la gestione delle richieste di approvvigionamento.

ID	Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale Associato
1	SteelWorks Italia	Lavorazione acciaio	Acciaio B450C
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35
6	BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35

Figura 23 – Output generato dal nodo “Associazione dei dati ai fornitori”

Nodo 10 – Generazione della richiesta dell'ordine

Il Nodo 10 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per organizzare le informazioni elaborate nelle fasi precedenti e predisporre la struttura dati necessaria alla generazione della richiesta di approvvigionamento. Il nodo riceve il dataset ottenuto dall'associazione tra materiali e fornitori e seleziona solamente le informazioni necessarie alla successiva creazione delle comunicazioni automatiche. In questa fase vengono quindi organizzati i dati relativi al materiale richiesto, alla quantità prevista, alla data programmata di ordine e al fornitore individuato. L'output generato (*Figura 24*) consiste in una struttura dati semplificata contenente esclusivamente le informazioni necessarie alla compilazione automatica delle richieste di fornitura inviate nei passaggi successivi del workflow.

Tabella 9: Caratteristiche Nodo 10 di Figura 15

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Organizzazione delle informazioni necessarie alla generazione della richiesta di approvvigionamento
Input	Dataset proveniente dal nodo Associazione dei dati ai fornitori contenente lavorazioni, materiali, quantità, data di ordine e fornitore associato
Parametri impostati	Selezione dei campi necessari alla richiesta: materiale, quantità, data ordine, fornitore associato e tipologia di fornitura
Output	Struttura dati contenente le informazioni utilizzate per la generazione automatica delle richieste ai fornitori

Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale	Quantità	Data Ordine
SteelWorks Italia	Lavorazione acciaio	Acciaio B450C	72000 kg	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	66,861 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	132,84 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	67,743 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	54,4 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	49,2 m³	21/03/2026

Figura 24 – Output generato dal nodo “Generazione della richiesta dell'ordine”

Nodo 11 - Smistamento delle richieste di approvvigionamento

Il Nodo 11 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “Switch” utilizzato per indirizzare automaticamente il flusso di elaborazione verso il ramo corretto in funzione della tipologia di materiale richiesto. Il nodo riceve le informazioni generate nella fase precedente e, attraverso specifiche condizioni impostate, analizza il materiale associato alla richiesta di approvvigionamento. In base al risultato del controllo effettuato, l’output generato viene suddiviso in due percorsi differenti: uno dedicato alla gestione della richiesta di calcestruzzo (*Figura 25*) e uno relativo alla richiesta di acciaio (*Figura 26*). Questa configurazione permette di generare comunicazioni specifiche per ciascun materiale e per il relativo fornitore associato, consentendo ai nodi successivi di elaborare solamente le informazioni relative alla specifica tipologia di fornitura.

Tabella 10: Caratteristiche Nodo 11 di Figura 15

Tipologia nodo	Switch
Funzione	Smistamento automatico delle richieste di approvvigionamento in base alla tipologia di materiale
Input	Dati provenienti dal nodo Generazione della richiesta dell’ordine contenenti materiale richiesto e fornitore associato
Parametri impostati	Regole di controllo: CLS C28/35 → BetonNord; Acciaio B450C → SteelWorks Italia
Output	Suddivisione del workflow in due rami dedicati rispettivamente alla gestione della richiesta di calcestruzzo e acciaio

Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale	Quantità	Data Ordine
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	66,861 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	132,84 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	67,743 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	54,4 m³	21/03/2026
BetonNord	Produzione calcestruzzo	CLS C28/35	49,2 m³	21/03/2026

Figura 25 – Output 0: Ramo dedicato alla richiesta di approvvigionamento del calcestruzzo

Fornitore	Tipologia Fornitura	Materiale	Quantità	Data Ordine
SteelWorks Italia	Lavorazione acciaio	Acciaio B450C	72000 kg	21/03/2026

Figura 26 – Output 1: Ramo dedicato alla richiesta di approvvigionamento dell’acciaio

Nodo 12 – Somma della quantità totale di calcestruzzo

Il Nodo 12 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “Code” utilizzato per elaborare le informazioni relative alle quantità di calcestruzzo necessarie per la realizzazione delle lavorazioni previste. Il nodo riceve i dati provenienti dal ramo dedicato al calcestruzzo e, attraverso uno script sviluppato in JavaScript (*Figura 27*), effettua il calcolo automatico del quantitativo complessivo richiesto. Lo script configurato all’interno del nodo analizza il campo relativo alla quantità proveniente dal computo metrico estimativo, converte i valori estratti in formato numerico ed esegue la somma delle quantità associate alle diverse lavorazioni di fondazione. In questo modo le quantità dei singoli elementi strutturali vengono aggregate in un unico valore complessivo.

Tabella 11: Caratteristiche Nodo 12 di Figura 15

Tipologia nodo	Code
Funzione	Calcolo automatico del quantitativo totale di calcestruzzo necessario
Input	Dati provenienti dal ramo calcestruzzo contenenti le quantità estratte dal computo metrico estimativo
Parametri impostati	Script JavaScript per conversione dei valori numerici, somma delle quantità e generazione dei campi Materiale, QuantitàTotale e DataOrdine
Output	Struttura dati contenente materiale, quantità totale di calcestruzzo richiesta e data prevista di ordine


```

1  let totale = 0;
2
3  items.forEach(item => {
4    totale += parseFloat(
5      item.json["Quantità"]
6        .toString()
7        .replace(",", ".")
8        .replace(" m³", "")
9    );
10 });
11
12 return [{
13   json: {
14     Materiale: items[0].json["Materiale"],
15     QuantitaTotale: totale.toFixed(3),
16     DataOrdine: items[0].json["Data Ordine"]
17   }
18 }];

```

Figura 27 – Configurazione dello script del nodo “Somma della quantità totale di calcestruzzo”

L’output generato consiste in una struttura dati contenente il materiale richiesto, la quantità totale di calcestruzzo necessaria espressa in m³ e la data prevista per l’ordine, rendendo disponibili tali informazioni per la successiva generazione della richiesta di approvvigionamento (Figura 28).

Materiale	QuantitaTotale	DataOrdine
CLS C28/35	371.044	21/03/2026

Figura 28 – Output generato dal nodo “Somma della quantità totale di calcestruzzo”

Nodo 13 – Formattazione dell’ordine dell’acciaio

Il Nodo 13 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “Code” utilizzato per elaborare le informazioni relative alla quantità di acciaio necessaria alla realizzazione delle lavorazioni previste. Il nodo riceve i dati provenienti dal ramo dedicato all’acciaio e, attraverso uno script sviluppato in JavaScript (*Figura 29*), organizza le informazioni nel formato necessario per la successiva generazione della richiesta di approvvigionamento. A differenza del ramo relativo al calcestruzzo, nel caso analizzato la quantità di acciaio deriva da una singola voce presente nel computo metrico estimativo. Per questo motivo il nodo non effettua operazioni di somma tra più elementi, ma si occupa della gestione del valore estratto e della predisposizione delle informazioni richieste dal workflow.

Tabella 12: Caratteristiche Nodo 13 di Figura 15

Tipologia nodo	Code
Funzione	Elaborazione e organizzazione della quantità di acciaio necessaria alla richiesta di approvvigionamento
Input	Dati provenienti dal ramo acciaio contenenti la quantità estratta dal computo metrico estimativo
Parametri impostati	Script JavaScript per gestione del valore estratto e generazione dei campi Materiale, Quantità e DataOrdine
Output	Struttura dati contenente materiale, quantità totale di acciaio richiesta e data prevista di ordine

```
1  let totale = 0;
2
3  items.forEach(item => {
4    totale += parseFloat(
5      item.json["Quantità"]
6        .toString()
7        .replace(",", ".")
8        .replace(" kg", "")
9    );
10 });
11
12 return [{
13   json: {
14     Materiale: items[0].json["Materiale"],
15     "Quantità (kg)": totale.toFixed(0),
16     "Data Ordine": items[0].json["Data Ordine"]
17   }
18 }];
```

Figura 29 – Configurazione dello script del nodo “Formattazione dell’ordine dell’acciaio”

L’output generato consiste in una struttura dati contenente il materiale richiesto, la quantità di acciaio necessaria espressa in kg e la data prevista per l’ordine (Figura 30), rendendo disponibili tali informazioni per la successiva generazione della richiesta di approvvigionamento.

Materiale	Quantità (kg)	Data Ordine
Acciaio B450C	72000	21/03/2026

Figura 30 – Output generato dal nodo “Formattazione dell’ordine dell’acciaio”

Nodo 14 – Richiesta di approvvigionamento di calcestruzzo

Premessa: Le richieste di approvvigionamento generate dal workflow sono state sviluppate con finalità dimostrative nell’ambito del caso studio. Per questo motivo gli indirizzi mail utilizzati sono stati configurati in modo simulato, mantenendo tuttavia la struttura del processo reale.

Il Nodo 14 del workflow (Figura 15) è un nodo di tipo “Send Email” utilizzato per la generazione automatica della richiesta di approvvigionamento del calcestruzzo. Il nodo riceve i dati elaborati dal ramo dedicato al calcestruzzo (Figura 25) e genera una comunicazione e-mail compilata automaticamente attraverso un template HTML configurato al suo interno. Le informazioni relative al materiale richiesto, alla quantità necessaria e alla data prevista di ordine vengono inserite dinamicamente utilizzando gli output prodotti dai nodi precedenti (Figura 31).

Tabella 13 - Caratteristiche Nodo 14 di Figura 15

Tipologia nodo	Send Email
Funzione	Generazione automatica della richiesta di approvvigionamento del calcestruzzo
Input	Dati provenienti dal ramo calcestruzzo contenenti materiale, quantità richiesta, data prevista di ordine e informazioni del fornitore
Parametri impostati	Destinatario della mail, oggetto della richiesta e configurazione del template HTML con campi dinamici
Output	E-mail automatica contenente le informazioni necessarie alla richiesta di fornitura del calcestruzzo

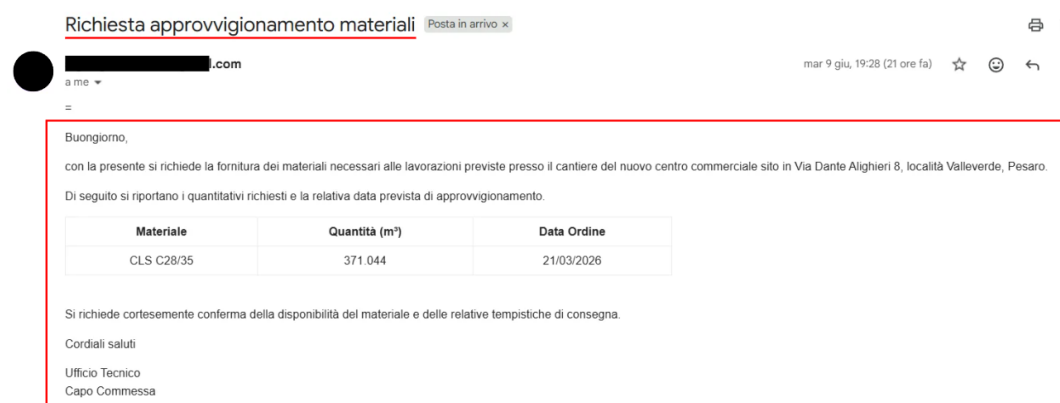


Figura 31 – E-mail relativa al calcestruzzo generata dal workflow

All'interno del nodo è stato configurato un template HTML (*Figura 32*) utilizzato per definire la struttura della comunicazione automatica inviata al fornitore. La configurazione comprende l'oggetto della richiesta e il corpo della mail, all'interno del quale sono stati inseriti campi dinamici collegati agli output generati dal workflow.

Tali campi permettono di compilare automaticamente la richiesta di approvvigionamento inserendo le informazioni elaborate nei nodi precedenti, tra cui:

- Materiale: `{{json["Materiale"]}}`
- Quantità: `{{json["Quantità (m³)"]}}`
- Data ordine: `{{json["Data Ordine"]}}`

```
={{
\
<p>Buongiorno,</p>

<p>
con la presente si richiede la fornitura dei materiali
necessari alle lavorazioni previste presso il cantiere del
nuovo centro commerciale sito in Via Dante Alighieri 8,
località Valleverde, Pesaro.
</p>

<p>
Di seguito si riportano i quantitativi richiesti e la
relativa data prevista di approvvigionamento.
</p>

<table border="1" cellpadding="6" cellspacing="0"
style="border-collapse: collapse; width: 60%; text-align:
center;">
  <tr>
    <th>Materiale</th>
    <th>Quantità (m³)</th>
    <th>Data Ordine</th>
  </tr>

  <tr>
    <td>{{json["Materiale"]}</td>
    <td>{{json["QuantitaTotale"]}</td>
    <td>{{json["DataOrdine"]}</td>
  </tr>
</table>

<br>

<p>
Si richiede cortesemente conferma della disponibilità del
materiale e delle relative tempistiche di consegna.
</p>

<p>
Cordiali saluti
</p>

<p>
Ufficio Tecnico<br>
Capo Commessa
</p>
\
}}
```

Figura 32 – Prompt HTML utilizzato nel nodo “Richiesta di approvvigionamento di calcestruzzo”

Nodo 15 – Richiesta di approvvigionamento dell'acciaio

Premessa: Le richieste di approvvigionamento generate dal workflow sono state sviluppate con finalità dimostrative nell'ambito del caso studio. Per questo motivo gli indirizzi mail utilizzati sono stati configurati in modo simulato, mantenendo tuttavia la struttura del processo reale.

Il Nodo 15 del workflow (Figura 15) è un nodo di tipo “Send Email” utilizzato per la generazione automatica della richiesta di approvvigionamento dell'acciaio. Il nodo riceve i dati elaborati dal ramo dedicato all'acciaio (Figura 26) e genera una comunicazione e-mail compilata automaticamente attraverso un template HTML configurato al suo interno. Le informazioni relative al materiale richiesto, alla quantità necessaria e alla data prevista di ordine vengono inserite dinamicamente utilizzando gli output prodotti dai nodi precedenti (Figura 33).

Tabella 14 - Caratteristiche Nodo 15 di Figura 15

Tipologia nodo	Send Email
Funzione	Generazione automatica della richiesta di approvvigionamento dell'acciaio
Input	Dati provenienti dal ramo acciaio contenenti materiale, quantità richiesta, data prevista di ordine e informazioni del fornitore
Parametri impostati	Destinatario della mail, oggetto della richiesta e configurazione del template HTML con campi dinamici
Output	E-mail automatica contenente le informazioni necessarie alla richiesta di fornitura dell'acciaio



Figura 33 – E-mail relativa all'acciaio generata dal workflow

All'interno del nodo è stato configurato un template HTML (*Figura 34*) utilizzato per definire la struttura della comunicazione automatica inviata al fornitore. La configurazione comprende l'oggetto della richiesta e il corpo della mail, all'interno del quale sono stati inseriti campi dinamici collegati agli output generati dal workflow.

Tali campi permettono di compilare automaticamente la richiesta di approvvigionamento inserendo le informazioni elaborate nei nodi precedenti, tra cui:

- Materiale: {{\$json["Materiale"]}}
- Quantità: {{\$json["Quantità (kg)"]}}
- Data ordine: {{\$json["Data Ordine"]}}

```
={{
  <p>Buongiorno,</p>

  <p>
    con la presente si richiede la fornitura dei materiali in
    acciaio necessari alle lavorazioni previste presso il
    cantiere del nuovo centro commerciale sito in Via Dante
    Alighieri 8, località Valleverde, Pesaro.
  </p>

  <p>
    Di seguito si riportano i quantitativi richiesti e la
    relativa data prevista di approvvigionamento.
  </p>

  <table border="1" cellpadding="6" cellspacing="0"
    style="border-collapse: collapse; width: 60%; text-align:
    center;">
    <tr>
      <th>Materiale</th>
      <th>Quantità (kg)</th>
      <th>Data Ordine</th>
    </tr>

    <tr>
      <td>{{$json["Materiale"]}</td>
      <td>{{$json["QuantitàTotale"]}</td>
      <td>{{$json["DataOrdine"]}</td>
    </tr>
  </table>

  <br>

  <p>
    Si richiede cortesemente conferma della disponibilità del
    materiale e delle relative tempistiche di consegna.
  </p>

  <p>
    Cordiali saluti
  </p>

  <p>
    Ufficio Tecnico<br>
    Capo Commessa
  </p>
}}
```

Figura 34 – Prompt HTML utilizzato nel nodo “Richiesta di approvvigionamento dell’acciaio”

Nodo 16 - Lettura della tavola strutturale

Il Nodo 16 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Read File(s) From Disk*” utilizzato per acquisire l’immagine contenente gli elaborati strutturali (*Figura 2*) relativi alle opere di fondazione analizzate. Il nodo permette di importare all’interno del workflow il file in formato “.PNG”, ottenuto attraverso una semplificazione della documentazione strutturale originale (*vedi paragrafo 4.3.6*), in modo da renderlo utilizzabile nella successiva fase di analisi tramite intelligenza artificiale. L’immagine acquisita contiene le principali informazioni tecniche necessarie all’identificazione degli elementi strutturali, come tipologia degli elementi di fondazione, codici identificativi, dimensioni geometriche e caratteristiche costruttive.

Tabella 15 - Caratteristiche Nodo 16 di Figura 15

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk
Funzione	Acquisizione dell’immagine contenente gli elaborati strutturali delle opere di fondazione
Input	File in formato .PNG derivato dalla semplificazione della tavola strutturale originale
Parametri impostati	Percorso locale del file da acquisire e lettura dell’immagine in formato .PNG
Output	Immagine degli elaborati strutturali importata nel workflow e disponibile per la successiva analisi tramite Intelligenza Artificiale

L'output generato (*Figura 35*) consiste nel file immagine importato all'interno del workflow, che viene successivamente trasmesso al nodo di analisi AI per l'estrazione automatica delle informazioni contenute nella tavola.

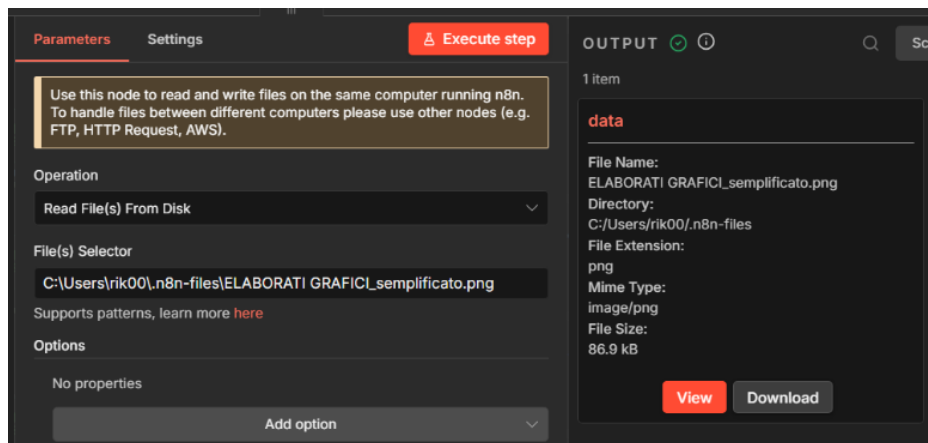


Figura 35 – Configurazione del nodo “Lettura della tavola strutturale”

Nodo 17 – Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale

Il Nodo 17 del workflow (Figura 15) è un nodo di tipo “AI Agent” utilizzato per l’analisi automatica degli elaborati strutturali acquisiti nella fase precedente. Attraverso l’impiego del modello di intelligenza artificiale GPT-4.1 di OpenAI, il nodo interpreta il contenuto grafico della tavola strutturale e individua le principali informazioni relative agli elementi di fondazione presenti. Il modello riceve in ingresso l’immagine dell’elaborato strutturale e un prompt contenente le istruzioni di analisi, con l’obiettivo di estrarre informazioni quali tipologia degli elementi, codici identificativi, dimensioni geometriche e caratteristiche tecniche necessarie alle successive elaborazioni del workflow (Figura 36).

Tabella 16 - Caratteristiche Nodo 17 di Figura 15

Tipologia nodo	AI Agent con modello GPT-4.1
Funzione	Analisi automatica degli elaborati strutturali ed estrazione delle informazioni tecniche sugli elementi di fondazione
Input	Immagine della tavola strutturale fornita tramite URL e istruzioni definite tramite prompt
Parametri impostati	Modello GPT-4.1, modalità Message a Model, input immagine + testo, dettaglio analisi immagine Auto
Output	Dati strutturati relativi agli elementi individuati, alle caratteristiche geometriche e alle informazioni tecniche estratte

OUTPUT

5 Items

nome_elemento	tipologia	dimensioni	quote	lunghezze
Plinti tipo T1	Plinto di fondazione	larghezza : 350 cm profondità : 350 cm	0 : 70 cm 1 : 70 cm	[empty array]
Plinti tipo T2	Plinto di fondazione	larghezza : 340 cm profondità : 340 cm	0 : 70 cm 1 : 65 cm	[empty array]
Plinti tipo T3	Plinto di fondazione	larghezza : 370 cm profondità : 370 cm	0 : 70 cm 1 : 65 cm	[empty array]
Cordoli 50x60 longitudinali	Cordolo di fondazione	larghezza : 50 cm altezza : 60 cm	[empty array]	0 : 1003 cm
Cordoli 50x60 trasversali	Cordolo di fondazione	larghezza : 50 cm altezza : 60 cm	[empty array]	0 : 1353 cm

Figura 36 – Output generato dal nodo “Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale”

Per l'elaborazione delle informazioni è stato utilizzato il modello GPT-4.1, configurato all'interno del nodo attraverso l'operazione "Message a Model".

Il nodo è stato impostato per ricevere due tipologie di input (*Figura 37 e Figura 38*):

- un input visivo, costituito dall'immagine della tavola strutturale tramite URL
- un input testuale, costituito dal prompt contenente le istruzioni di analisi

Il prompt è stato definito per guidare il modello nell'identificazione degli elementi strutturali presenti nell'elaborato, tra cui:

- plinti tipo T1, T2 e T3
- cordoli longitudinali e trasversali
- dimensioni geometriche degli elementi
- quote principali

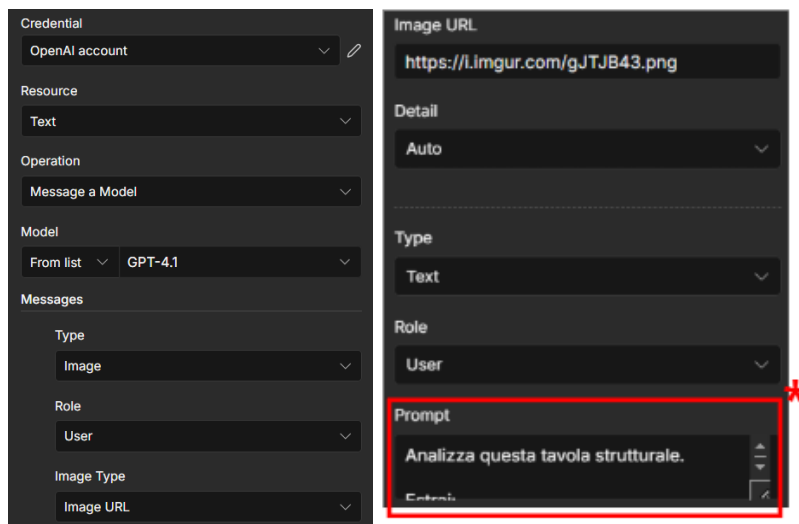


Figura 37 - Impostazione del modello GPT-4.1 e del prompt utilizzato nel nodo

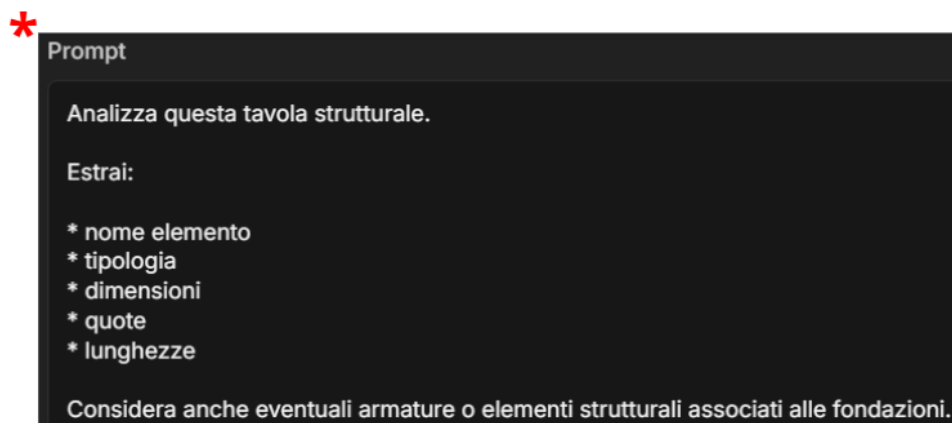


Figura 38 – Configurazione del prompt nel nodo "Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale"

Nodo 18 – Verifica dei dati geometrici

Il Nodo 18 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Switch*” utilizzato per verificare la completezza delle informazioni estratte dagli elaborati strutturali tramite il nodo di analisi AI. Il nodo riceve i dati generati dall’intelligenza artificiale e controlla la presenza delle principali informazioni geometriche necessarie alla descrizione degli elementi strutturali individuati. La verifica effettuata non riguarda il controllo del dimensionamento strutturale degli elementi, ma esclusivamente la presenza e l’organizzazione delle informazioni ottenute dalla lettura automatizzata della tavola nel nodo precedente. In particolare, vengono analizzati dati come la tipologia dell’elemento, il codice identificativo, le dimensioni geometriche e le quote principali.

Tabella 17 - Caratteristiche Nodo 18 di Figura 15

Tipologia nodo	Switch
Funzione	Verifica della completezza delle informazioni geometriche estratte tramite Intelligenza Artificiale
Input	Dati strutturati provenienti dal nodo AI Agent contenenti le informazioni sugli elementi individuati
Parametri impostati	Condizioni di controllo sulla presenza di tipologia elemento, codice identificativo, dimensioni geometriche e quote principali
Output	Conferma della completezza dei dati oppure segnalazione delle informazioni mancanti

nome_elemento	tipologia	dimensioni	quote	lunghezze
Plinti tipo T1	Plinto	larghezza : 350 cm altezza : 350 cm	0 : 70 cm 1 : 70 cm	null
Plinti tipo T2	Plinto	larghezza : 340 cm altezza : 340 cm	0 : 70 cm 1 : 65 cm	null
Plinti tipo T3	Plinto	larghezza : 370 cm altezza : 370 cm	0 : 70 cm 1 : 65 cm	null
Cordoli 50x60 longitudinali	Cordolo	larghezza : 50 cm altezza : 60 cm	[empty array]	0 : 1.003 cm
Cordoli 50x60 trasversali	Cordolo	larghezza : 50 cm altezza : 60 cm	[empty array]	0 : 1.353 cm

Figura 39 - Output del nodo “Verifica dei dati geometrici”

Attraverso le condizioni impostate, l’output generato (Figura 39) dal nodo può seguire due differenti percorsi: nel caso in cui tutte le informazioni richieste siano presenti il workflow conferma la completezza dei dati (vedi Nodo 19 – Figura 40), mentre in presenza di informazioni mancanti viene generata una segnalazione relativa ai dati non disponibili (vedi Nodo 19).

Nodo 19 - Conferma di completezza dei dati

Il Nodo 19 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per generare un messaggio di conferma a seguito della verifica delle informazioni estratte dagli elaborati strutturali. Il nodo rappresenta il ramo positivo del controllo effettuato nel nodo precedente e viene attivato quando l’analisi AI ha individuato correttamente le informazioni geometriche richieste. Attraverso la creazione di un campo dedicato, viene generata una risposta che conferma la presenza dei principali dati relativi agli elementi strutturali analizzati, come identificativo dell’elemento, tipologia e dimensioni geometriche. L’output generato (*Figura 40*) consiste in una tabella di controllo nella quale, per ogni elemento analizzato, viene riportato lo stato della verifica e l’eventuale problema individuato. Nel caso analizzato, tutti gli elementi risultano verificati correttamente, restituendo lo stato “OK” e l’assenza di problematiche rilevate.

Tabella 18 - Caratteristiche Nodo 19 di Figura 15

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Generazione del risultato della verifica relativa alla completezza delle informazioni estratte
Input	Risultato positivo proveniente dal nodo Verifica dei dati geometrici
Parametri impostati	Creazione dei campi “Stato” e “Problema” per rappresentare l’esito della verifica
Output	Tabella contenente lo stato della verifica degli elementi analizzati e le eventuali problematiche riscontrate

Stato	Problema
OK	Nessuno
OK	Nessuno
OK	Nessuno
OK	Nessuno
OK	Nessuno

Figura 40 – Output del nodo “Conferma di completezza dei dati”

Nodo 20 - Segnalazione di anomalie

Il Nodo 20 del workflow (*Figura 15*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per generare una segnalazione nel caso in cui la verifica delle informazioni estratte dagli elaborati strutturali evidenzia dati mancanti o incompleti. Il nodo rappresenta il ramo negativo del controllo effettuato dal “*Nodo 18 - Verifica dei dati geometrici*” e permette di individuare eventuali criticità presenti nei risultati ottenuti tramite l’analisi AI. Attraverso la creazione di specifici campi di risposta, il nodo organizza l’esito della verifica indicando lo stato del controllo e la tipologia di problema riscontrato. Tale segnalazione permette di evidenziare la necessità di effettuare una verifica manuale degli elaborati strutturali o di integrare le informazioni mancanti. L’output generato consiste in una tabella contenente l’indicazione delle anomalie rilevate durante il controllo dei dati estratti. Nel caso studio analizzato, il ramo di segnalazione non è stato attivato, in quanto l’analisi AI ha individuato correttamente tutte le informazioni richieste.

Tabella 19 - Caratteristiche Nodo 20 di Figura 15

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Generazione della segnalazione relativa alla presenza di dati mancanti o incompleti
Input	Risultato negativo proveniente dal nodo Verifica dei dati geometrici
Parametri impostati	Creazione dei campi “Stato” e “Problema” per indicare l’anomalia individuata
Output	Tabella contenente la segnalazione delle informazioni mancanti e delle eventuali verifiche necessarie

4.4 Verifiche sul corretto funzionamento del flusso

Terminata la fase di configurazione dei nodi, il workflow è stato sottoposto ad una serie di verifiche finalizzate a controllare il corretto funzionamento dei principali passaggi del processo automatizzato. Le prove effettuate hanno avuto l'obiettivo di valutare la corretta acquisizione dei dati di input, l'elaborazione delle informazioni provenienti dalla documentazione tecnica e il trasferimento dei dati tra i diversi nodi del workflow. In particolare, le verifiche sono state sviluppate seguendo il flusso logico del processo, partendo dalla lettura dei documenti iniziali fino alla generazione delle richieste di approvvigionamento e al controllo delle informazioni estratte dagli elaborati strutturali. Per ogni fase analizzata è stato effettuato un confronto tra i dati forniti in ingresso e gli output prodotti dal workflow, individuando esplicitamente il nodo o il gruppo di nodi responsabile della specifica elaborazione. Le verifiche eseguite sono state organizzate in funzione delle principali fasi operative del workflow, in modo da controllare progressivamente il corretto funzionamento del processo automatizzato. La *Tabella 20* riporta una sintesi delle verifiche effettuate e degli elementi del workflow analizzati.

Tabella 20 - Sommario delle verifiche effettuate

	Verifica
1	Lettura ed estrazione sei dati da computo e cronoprogramma
2	Estrazione dei dati sui fornitori
3	Unione computo metrico estimativo e cronoprogramma
4	Associazione dei materiali con i fornitori
5	Smistamento delle richieste di fornitura
6	Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale
7	Corretto invio di mail ai fornitori

4.4.1 Verifica della lettura ed estrazione dati da computo metrico e cronoprogramma

La prima verifica effettuata ha riguardato la corretta acquisizione della documentazione tecnica e l'estrazione delle informazioni necessarie alla gestione degli approvvigionamenti.

La prova è stata svolta utilizzando come dati di input il computo metrico estimativo e il cronoprogramma delle lavorazioni, con l'obiettivo di verificare che il workflow () fosse in grado di individuare correttamente le informazioni relative ai materiali necessari, alle quantità previste e alle tempistiche di esecuzione delle attività.

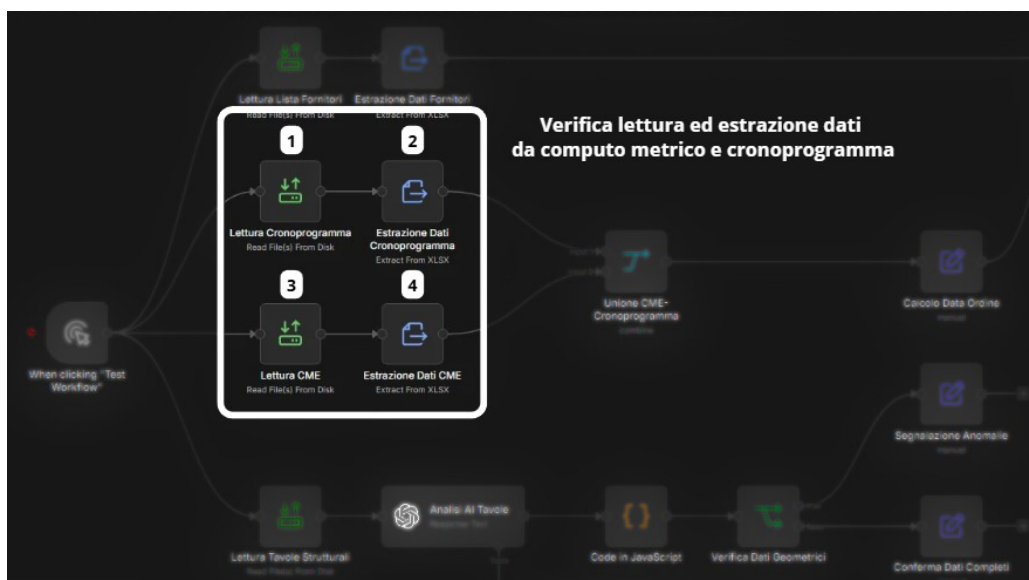


Figura 41 - Nodi del workflow coinvolti nella verifica

Per quanto riguarda il computo metrico estimativo, è stato utilizzato il documento contenente le lavorazioni di fondazione e le relative voci associate ai materiali. Il file viene acquisito dal nodo "Lettura del computo metrico estimativo" e successivamente elaborato dal nodo "Estrazione dei dati dal computo metrico estimativo", che consente di trasformare le informazioni contenute nel documento in dati strutturati utilizzabili dal workflow (Figura 42).

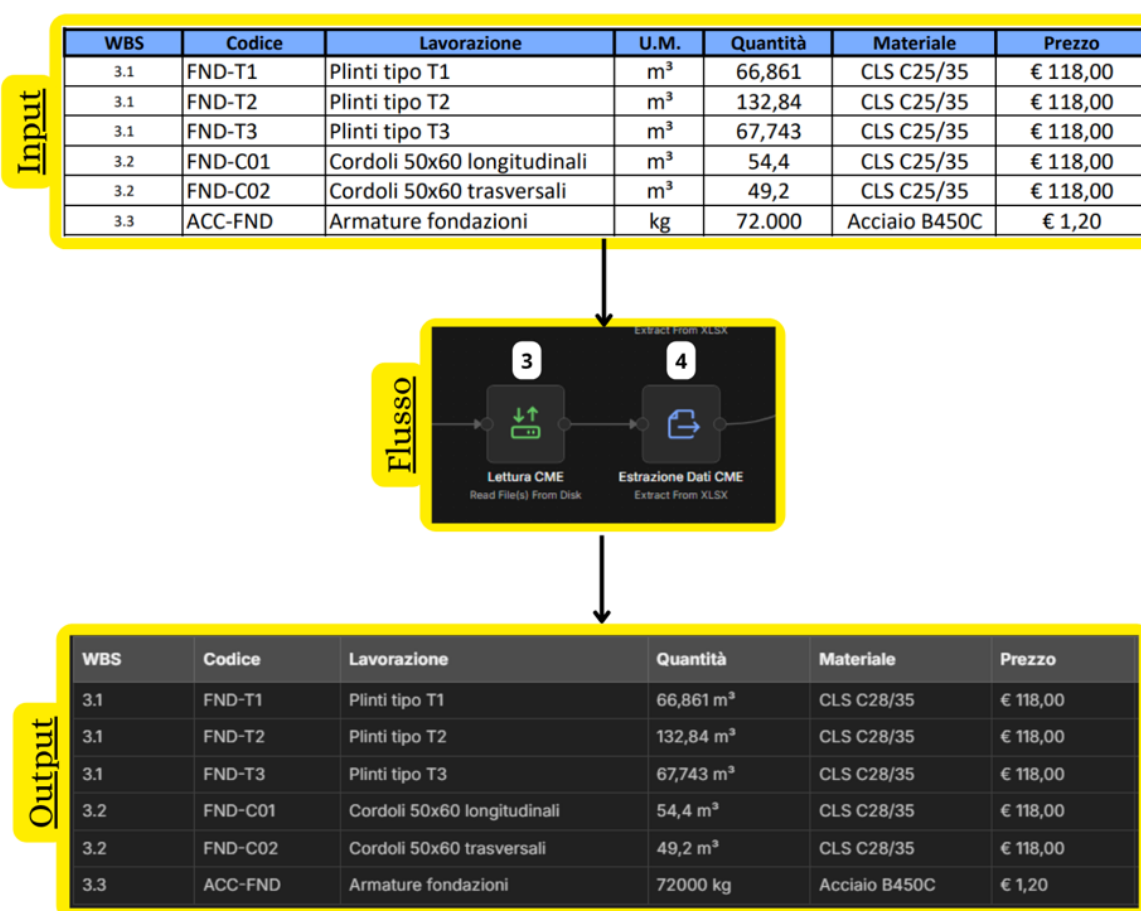


Figura 42 - Visualizzazione del processo di verifica di estrazione dati dal computo metrico estimativo

Per quanto riguarda il cronoprogramma, il documento originale presenta una struttura grafica finalizzata principalmente alla consultazione da parte delle figure tecniche di cantiere. Al fine di consentire una corretta elaborazione automatizzata delle informazioni, è stato predisposto un documento integrativo contenente gli stessi dati organizzati in formato tabellare (Figura 43).

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026

Figura 43 – Documento integrativo “Cronoprogramma_n8n.xlsx” utilizzato dal workflow

Il file viene acquisito dal nodo “*Lettura del cronoprogramma*” ed elaborato dal nodo “*Estrazione dei dati dal cronoprogramma*”, ottenendo una struttura dati contenente le informazioni temporali necessarie alle successive fasi del processo (Figura 44).

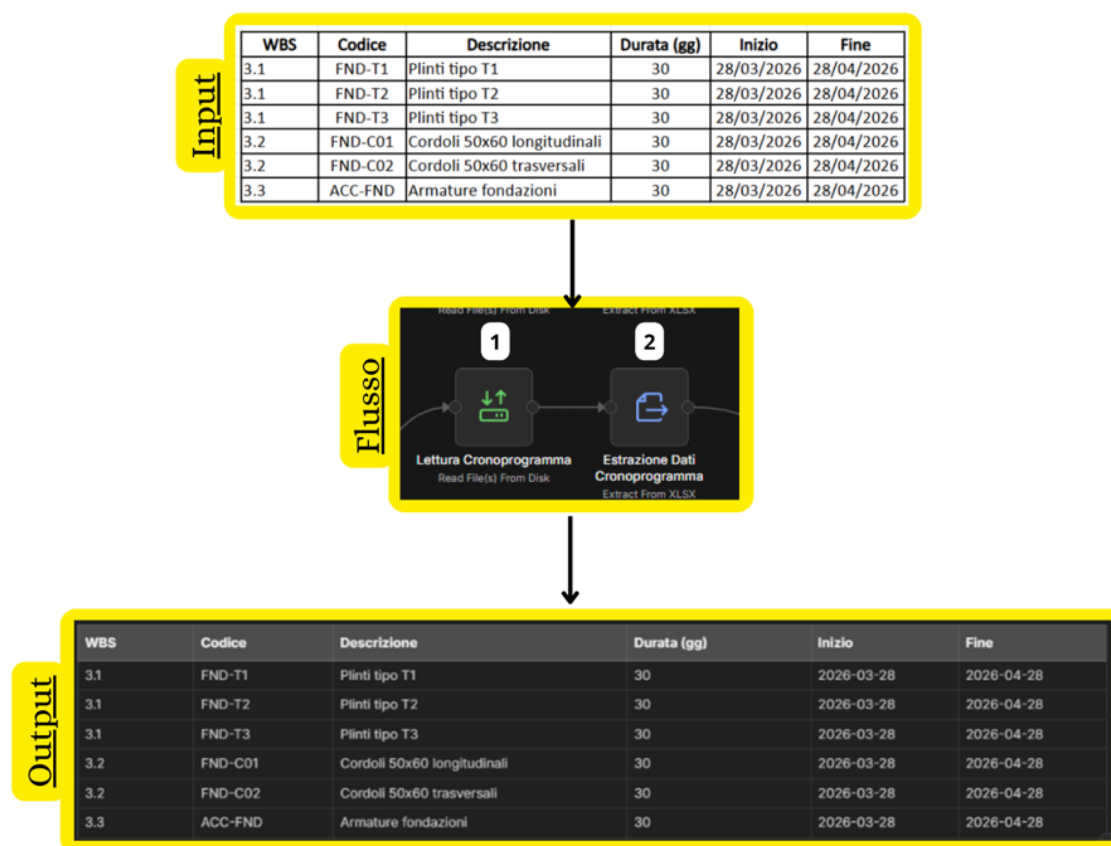


Figura 44 - Visualizzazione del processo di verifica di estrazione dati dal cronoprogramma

La verifica è stata effettuata confrontando le informazioni presenti nei documenti di input con gli output generati dai rispettivi nodi di estrazione, controllando la corretta individuazione dei dati necessari alla gestione degli approvvigionamenti.

4.4.2 Verifica dell'estrazione dei dati dei fornitori

La seconda verifica (*Figura 45*) effettuata ha riguardato la corretta acquisizione e interpretazione della lista fornitori utilizzata dal workflow per la successiva associazione automatica dei materiali alle relative aziende.



Figura 45 - Nodi del workflow coinvolti nella verifica

La prova è stata svolta utilizzando come input il database dei fornitori (*Figura 14*), contenente le informazioni necessarie per collegare ciascun materiale individuato nel computo metrico estimativo alla corrispondente tipologia di fornitura.

Il documento contiene le principali informazioni utilizzate dal workflow:

- Nome fornitore
- Tipologia fornitura
- Materiale associato

L'acquisizione della lista viene effettuata attraverso il nodo "Lettura della lista dei fornitori", mentre il nodo "Estrazione dei dati sui fornitori" si occupa di trasformare le informazioni presenti nel file in una struttura dati utilizzabile nelle successive elaborazioni.

La verifica è stata effettuata confrontando i dati presenti nel documento originale con l'output prodotto dal nodo di estrazione, controllando la corretta acquisizione dei campi necessari per la successiva associazione tra materiali e fornitori.

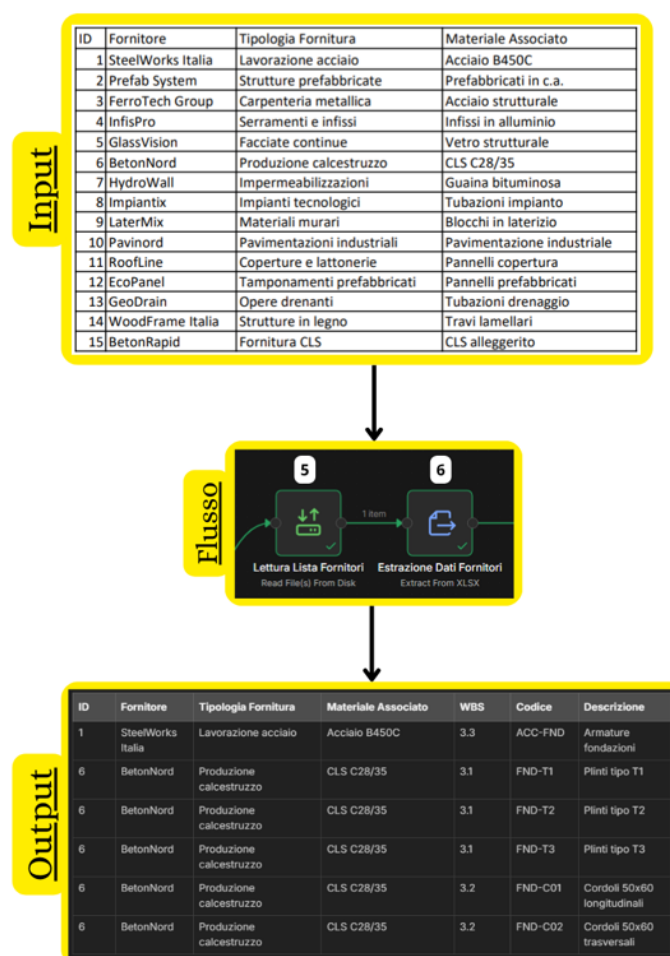


Figura 46 - Visualizzazione del processo di verifica dell'estrazione dei dati dei fornitori

Il risultato ottenuto mostra la corretta estrazione delle informazioni relative ai fornitori e rende disponibili i dati necessari alla fase successiva di collegamento automatico tra materiale richiesto e fornitore.

4.4.3 Verifica di unione del computo metrico estimativo con il cronoprogramma

La verifica (Figura 47) ha riguardato la corretta integrazione delle informazioni provenienti dal computo metrico estimativo e dal cronoprogramma, con l'obiettivo di collegare le lavorazioni previste ai relativi materiali e alle tempistiche di esecuzione.

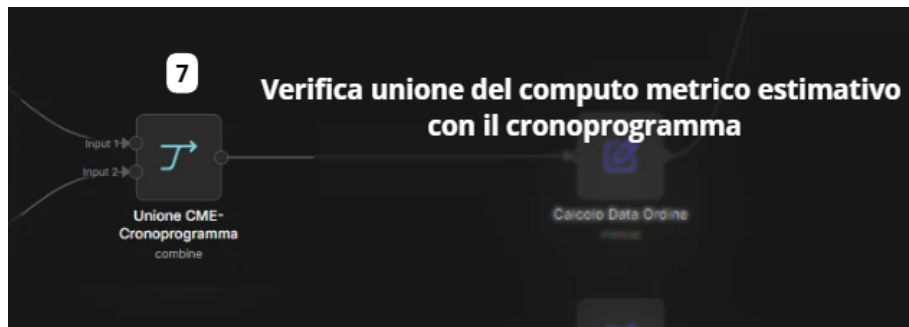


Figura 47 - Nodo del workflow coinvolto nella verifica

L'elaborazione viene effettuata dal nodo “*Unione del computo metrico estimativo con il cronoprogramma*”, che utilizza come input gli output generati dai nodi “*Estrazione dei dati dal computo metrico estimativo*” denominato “*Input 1*” ed “*Estrazione dei dati dal cronoprogramma*” denominato “*Input 2*” (Figura 48). Le informazioni provenienti dai due flussi vengono combinate all'interno di un'unica struttura dati contenente le informazioni necessarie alle successive fasi del workflow.

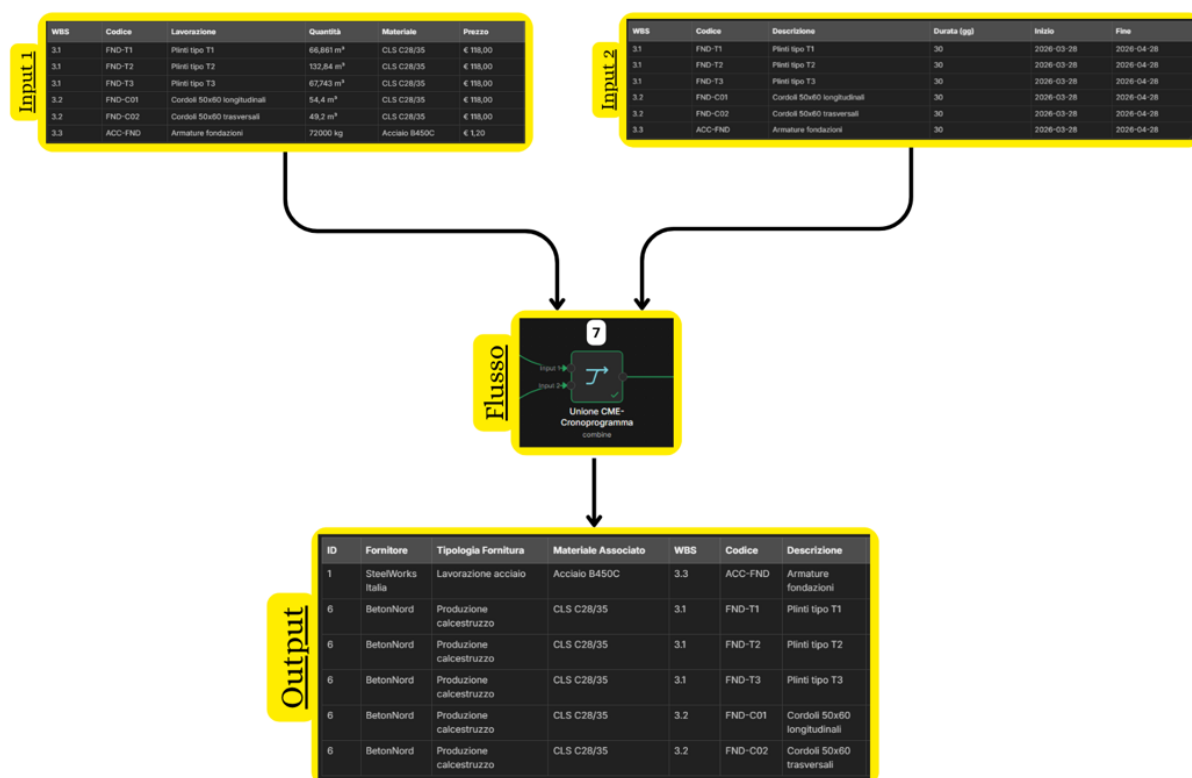


Figura 48 – Visualizzazione della verifica di unione del computo metrico estimativo con il cronoprogramma

La verifica è stata svolta confrontando l'output generato dal nodo di unione con i dati provenienti dai due documenti iniziali. In particolare, è stato controllato che ogni lavorazione fosse associata al relativo materiale necessario, alla quantità prevista, al costo e alle date di inizio e fine attività in accordo con i documenti esecutivi originali.

Il risultato ottenuto mostra la corretta integrazione delle informazioni provenienti dalle diverse fonti documentali, generando un unico dataset utilizzabile per la successiva pianificazione delle richieste di approvvigionamento.

4.4.4 Verifica della corretta associazione dei fornitori

La verifica (*Figura 49*) ha riguardato la corretta associazione tra i materiali individuati dal workflow e i relativi fornitori presenti nella lista fornitori.

L'elaborazione viene effettuata dal nodo “*Associazione dei dati ai fornitori*” (*Figura 49*), che utilizza come input i dati precedentemente elaborati dal workflow, contenenti materiali, quantità e data prevista di ordine, insieme alle informazioni provenienti dal nodo “*Estrazione dei dati sui fornitori*”.

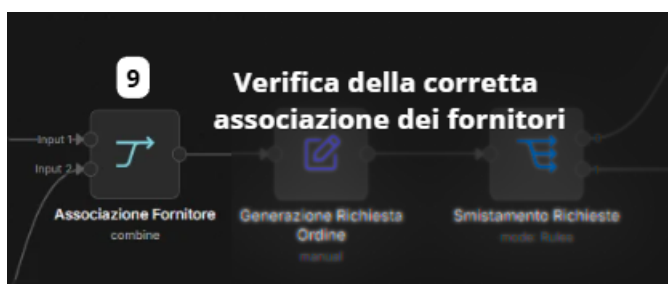


Figura 49 - Nodo del workflow coinvolto nella verifica

La data ordine viene generata nelle fasi precedenti del workflow attraverso il nodo “*Calcolo della data dell’ordine*”, anticipando la data di inizio lavorazione di un intervallo temporale prefissato pari a sette giorni.

Il nodo confronta il materiale richiesto con il materiale associato presente nella lista fornitori, collegando automaticamente ciascuna richiesta alla relativa azienda fornitrice.

La verifica è stata effettuata controllando che i materiali principali, CLS C28/35 e Acciaio B450C, fossero associati ai fornitori corretti e mantenessero le informazioni necessarie alla successiva fase di richiesta. Il nodo coinvolto nella verifica riceverà, dunque, due input il primo derivante dal nodo “*Lista dei fornitori*” e il secondo dal nodo “*Calcolo della data dell’ordine*” (*Figura 50*).

Flussi standardizzati per la gestione delle forniture di cantiere

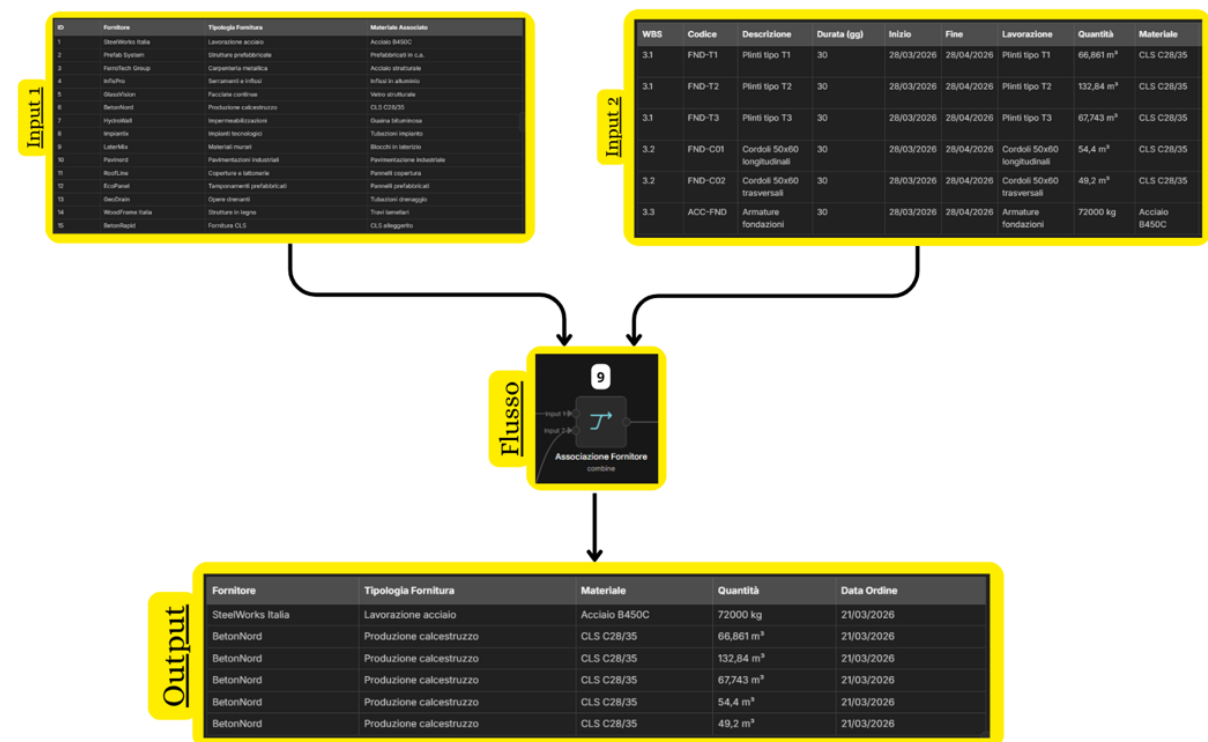


Figura 50 – Visualizzazione del processo di verifica della corretta associazione dei fornitori

Il risultato ottenuto conferma la corretta integrazione delle informazioni relative a materiale, quantità, data di ordine e fornitore associato, rendendo disponibili i dati necessari alla generazione successiva delle richieste di approvvigionamento.

4.4.5 Verifica dello smistamento delle richieste di fornitura

La verifica (*Figura 51*) ha riguardato la corretta suddivisione dei flussi informativi in funzione della tipologia di materiale individuato e del relativo fornitore associato.

L'elaborazione viene effettuata dal nodo “*Smistamento delle richieste di approvvigionamento*”, che riceve come input i dati generati dal nodo “*Associazione dei dati ai fornitori*”. Le informazioni, contenenti materiale richiesto, quantità, data ordine e fornitore associato, vengono analizzate e indirizzate verso il ramo del workflow corrispondente.



Figura 51 - Nodo del workflow coinvolto nella verifica

Nel caso studio analizzato, il nodo ha suddiviso automaticamente le richieste distinguendo la fornitura di calcestruzzo strutturale dalla fornitura di acciaio per cemento armato.

La verifica è stata effettuata controllando gli output generati dal nodo Switch, verificando che le richieste relative al calcestruzzo C28/35 fossero indirizzate verso il ramo associato al fornitore “*BetonNord*” e quelle relative all'acciaio B450C verso il ramo associato al fornitore “*SteelWorks Italia*”.

Flussi standardizzati per la gestione delle forniture di cantiere

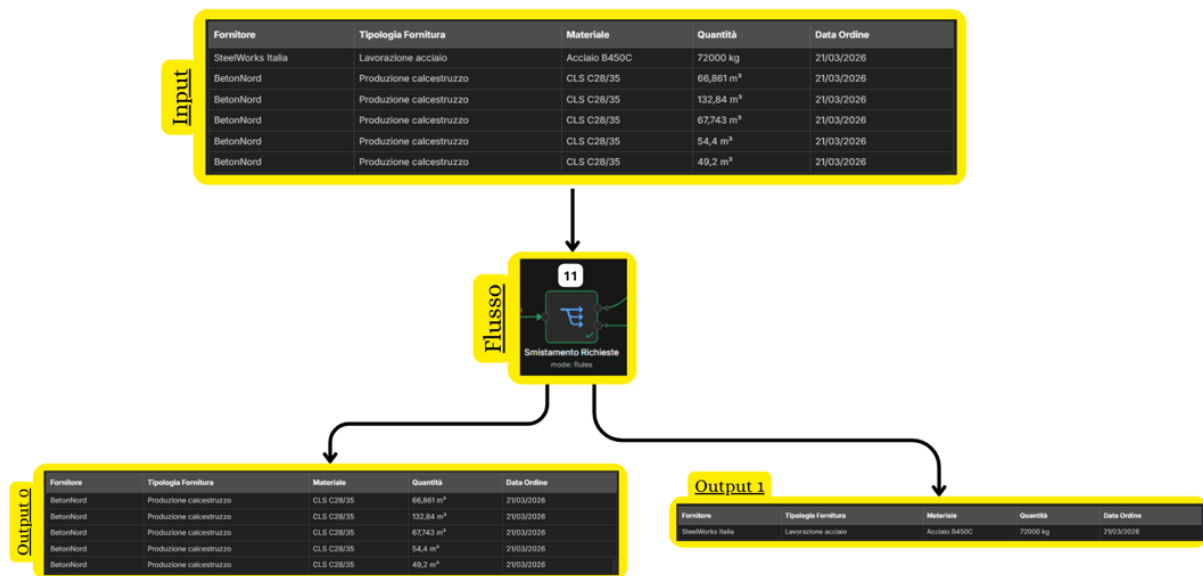


Figura 52 – Visualizzazione del processo di verifica dello smistamento delle richieste di fornitura

Il risultato ottenuto (Figura 52) conferma la corretta separazione dei flussi, permettendo alle successive fasi del workflow di generare richieste di approvvigionamento specifiche per ciascun fornitore.

4.4.6 Verifica dell'analisi della tavola strutturale tramite intelligenza artificiale

La verifica (*Figura 53*) ha riguardato la capacità del workflow di analizzare gli elaborati grafici strutturali ed estrarre automaticamente le principali informazioni relative agli elementi di fondazione presenti nelle tavole.



Figura 53 - Nodo del workflow coinvolto nella verifica

La prova è stata svolta utilizzando come riferimento gli elaborati strutturali originali di progetto (*Figura 2*). Il documento originale, essendo costituito da una scansione PDF, presenta informazioni organizzate principalmente per la consultazione tecnica da parte degli operatori. La presenza di numerosi dettagli grafici, insieme a possibili limitazioni dovute alla scala di rappresentazione del disegno, può rendere più complessa l'estrazione delle informazioni da parte del modello AI.

Per questo motivo è stato predisposto un documento integrativo (*Figura 54*) contenente una rappresentazione essenziale degli elementi strutturali analizzati, mantenendo le informazioni necessarie alla verifica del workflow e favorendo una corretta interpretazione automatizzata dei dati.

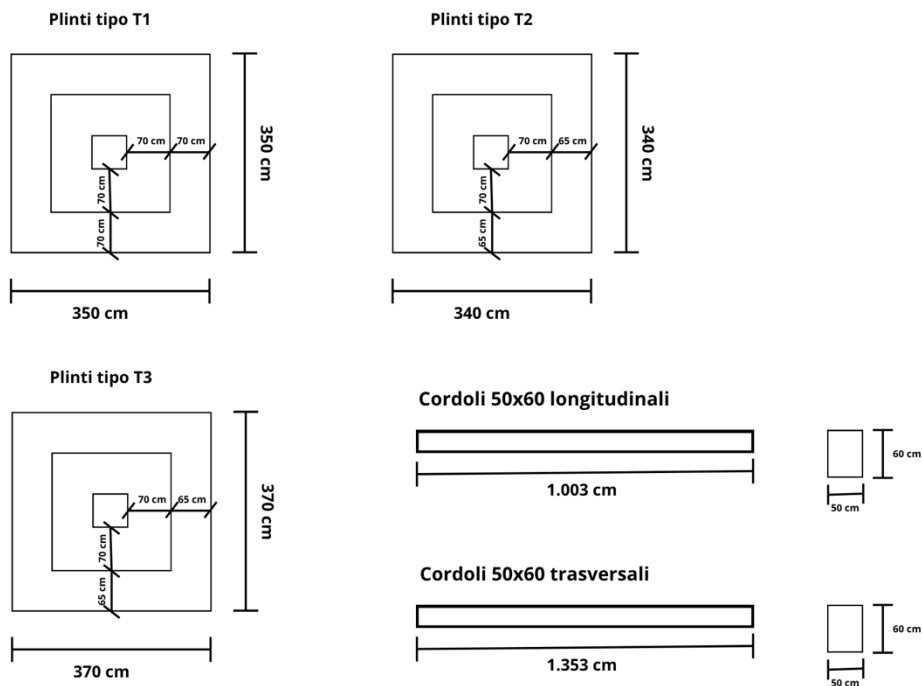


Figura 54 – Documento integrativo “Elaborati Grafici_semplificato.pdf” utilizzato dal workflow

L’acquisizione degli elaborati viene effettuata attraverso il nodo Lettura Tavole Strutturali, che importa il documento all’interno del workflow. L’elaborazione delle informazioni viene invece gestita dal nodo “*Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale*”, il quale utilizza il prompt configurato per individuare ed estrarre le informazioni richieste dagli elaborati analizzati.

La verifica è stata effettuata confrontando gli elementi presenti negli elaborati di input con l’output restituito dal nodo “*Lettura della tavola strutturale*”, controllando la corretta identificazione degli elementi strutturali e delle principali informazioni geometriche associate.

Nel caso studio analizzato, il workflow ha identificato correttamente i principali elementi di fondazione presenti negli elaborati, tra cui plinti di tipo T1, T2 e T3 e cordoli di collegamento longitudinali e trasversali (Figura 55).

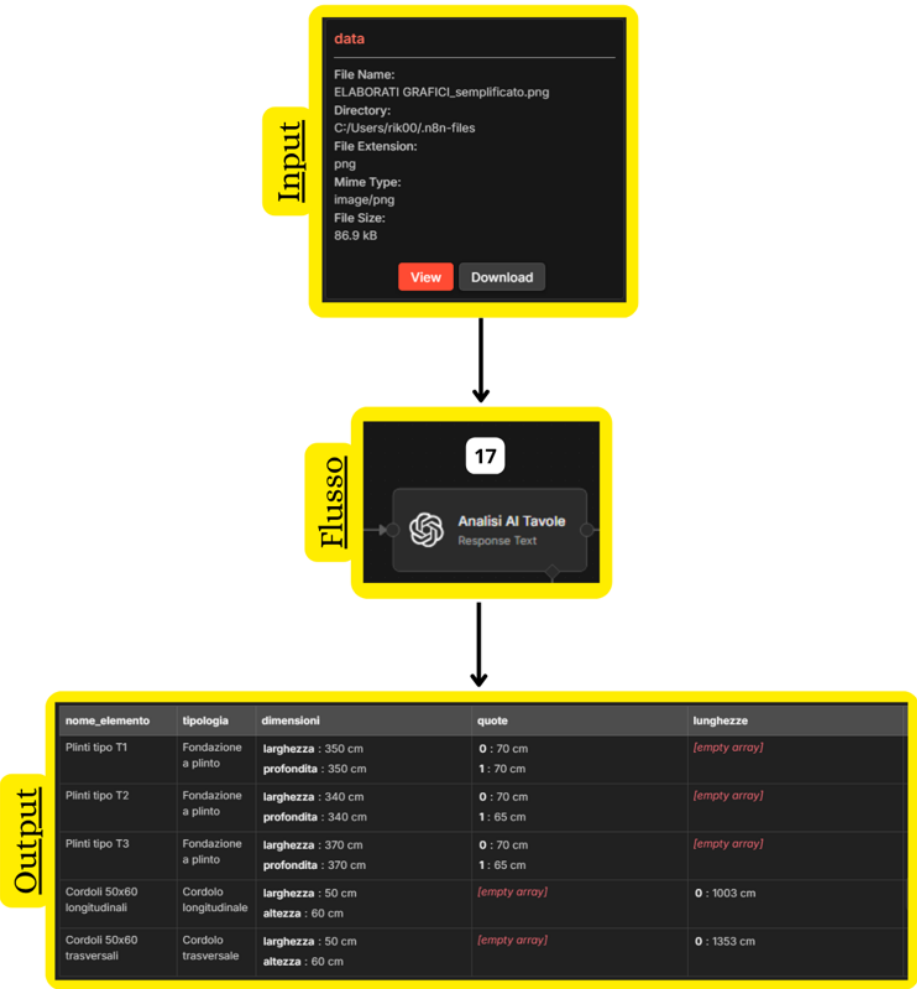


Figura 55 – Visualizzazione del processo di verifica dell’analisi della tavola strutturale tramite intelligenza artificiale

Il risultato ottenuto conferma la capacità del workflow di trasformare le informazioni contenute negli elaborati grafici in dati strutturati utilizzabili nel successivo processo di verifica della completezza delle informazioni estratte.

Nel caso studio analizzato, il controllo effettuato dal nodo “Verifica dei dati geometrici” ha confermato la presenza delle informazioni richieste, indirizzando il workflow verso il ramo di conferma senza generare segnalazioni di anomalia.

4.4.7 Verifica del corretto invio delle mail ai fornitori

La verifica (*Figura 56*) ha riguardato la generazione delle richieste di approvvigionamento da inviare ai fornitori individuati precedentemente dal workflow.



Figura 56 - Nodi del workflow coinvolti nella verifica

A seguito dello smistamento delle richieste, i dati relativi ai materiali vengono elaborati nei rispettivi rami dedicati al calcestruzzo e all'acciaio. Le informazioni utilizzate per la creazione delle mail derivano dalle elaborazioni precedenti del workflow e comprendono il materiale richiesto, la quantità totale necessaria, la data prevista di ordine e il fornitore associato.

La preparazione dei dati viene effettuata dai nodi di organizzazione e calcolo delle quantità, mentre la generazione finale delle comunicazioni viene gestita dai nodi “*Richiesta di approvvigionamento di calcestruzzo*” e “*Richiesta di approvvigionamento dell'acciaio*”. Attraverso i prompt HTML configurati (*Figura 32* e *Figura 34*), i nodi inseriscono automaticamente all'interno del testo della mail le informazioni estratte ed elaborate dal workflow.

La verifica è stata effettuata controllando la corrispondenza tra i dati prodotti dal workflow e le informazioni riportate nelle mail generate.

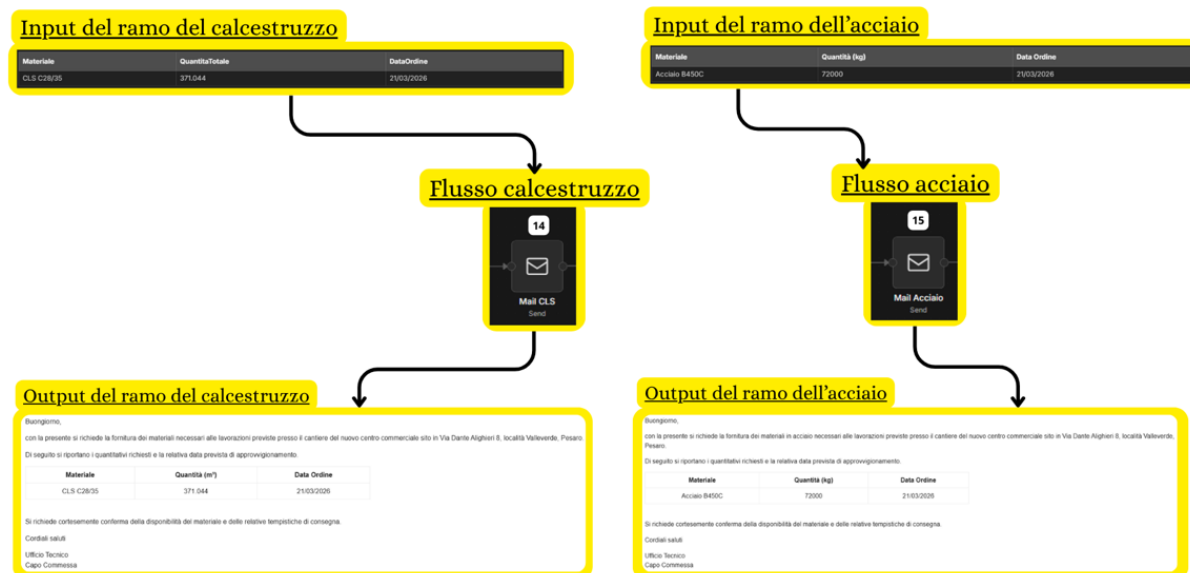


Figura 57 – Visualizzazione del processo di verifica del corretto invio delle mail al fornitore

Nel caso studio analizzato, le comunicazioni generate sono state inviate verso indirizzi di posta elettronica fittizi utilizzati esclusivamente per la simulazione del processo. Eventuali dati identificativi presenti nelle immagini sono stati opportunamente anonimizzati ai fini della tesi.

Il risultato ottenuto (Figura 57) conferma la corretta generazione delle richieste di approvvigionamento e il trasferimento automatico delle informazioni elaborate dal workflow all'interno delle comunicazioni destinate ai fornitori.

La *Tabella 21* seguente riassume le principali verifiche effettuate e il relativo esito ottenuto.

Tabella 21 – Riassunto delle verifiche effettuate sul workflow

	Verifica	Risultato
1	Lettura ed estrazione dati da computo e cronoprogramma	 Success
2	Estrazione dei dati sui fornitori	 Success
3	Unione computo metrico estimativo e cronoprogramma	 Success
4	Associazione dei materiali con i fornitori	 Success
5	Smistamento delle richieste di fornitura	 Success
6	Analisi tavola strutturale tramite intelligenza artificiale	 Success
7	Corretto invio di mail ai fornitori	 Success

Al termine delle verifiche sui singoli passaggi del processo è stata effettuata un'esecuzione completa del workflow, al fine di controllare il corretto funzionamento dell'intera sequenza di elaborazione (*Figura 58*).



Figura 58 – Esecuzione completa workflow su n8n

4.5 Criticità riscontrate

Durante lo sviluppo e la fase di verifica sono state inoltre individuate alcune criticità legate principalmente alla gestione della documentazione tecnica utilizzata come input e alla necessità di adattare i dati alle elaborazioni automatiche previste dal workflow.

Le principali difficoltà hanno riguardato l'integrazione delle informazioni provenienti da documenti differenti, la gestione dell'unione dei dati tra i diversi flussi e la corretta associazione tra materiali, lavorazioni e fornitori.

Un aspetto particolarmente rilevante è risultato essere il formato dei documenti disponibili. Alcuni elaborati, pur essendo adeguati alla consultazione da parte delle figure tecniche coinvolte nel processo edilizio, non presentavano una struttura ottimizzata per l'estrazione automatica delle informazioni.

Per questo motivo, durante lo sviluppo sono stati predisposti documenti integrativi, come il file "*Cronoprogramma_n8n.xlsx*", nei quali le informazioni contenute nei documenti originali sono state riorganizzate in una struttura semplificata senza modificare il contenuto tecnico delle informazioni.

La criticità principale è stata riscontrata nell'analisi degli elaborati grafici strutturali, disponibili sotto forma di scansione PDF. La presenza di numerosi elementi grafici, insieme alle possibili limitazioni dovute alla scala di rappresentazione del disegno, ha richiesto la predisposizione di un documento integrativo semplificato, finalizzato a migliorare l'interpretazione delle informazioni da parte del modello AI.

4.6 Workflow di elaborazione richiesta

Il workflow è stato progettato con l'obiettivo di supportare la fase di gestione operativa delle forniture durante l'avanzamento delle lavorazioni di cantiere, automatizzando alcune attività di controllo e organizzazione delle informazioni provenienti dalla documentazione tecnica. In particolare, il sistema integra le informazioni contenute nel cronoprogramma (*Figura 1*) e nel computo metrico estimativo (*Figura 4*), con lo scopo di monitorare lo stato delle lavorazioni previste, verificare l'avanzamento dei lotti operativi e supportare la pianificazione delle successive richieste di approvvigionamento.

Il workflow simula alcune attività svolte dal tecnico di cantiere, tra cui il controllo delle lavorazioni imminenti, la verifica dello stato dei materiali disponibili e la predisposizione delle comunicazioni operative verso i fornitori.

La documentazione utilizzata come input del processo comprende:

- Cronoprogramma
- Computo metrico estimativo

Tali documenti rappresentano le principali fonti informative utilizzate per collegare la programmazione temporale delle lavorazioni con le quantità di materiale previste dal progetto.

Per simulare l'avanzamento delle attività di cantiere, le forniture sono state suddivise in differenti lotti operativi ("*Ordine 1*", "*Ordine 2*"), consentendo al workflow di verificare il completamento di una fase e predisporre automaticamente i promemoria relativi agli approvvigionamenti successivi.

I documenti utilizzati per lo sviluppo e la verifica del workflow sono stati opportunamente anonimizzati eliminando eventuali dati sensibili presenti nella documentazione originale.

4.7 Struttura del workflow

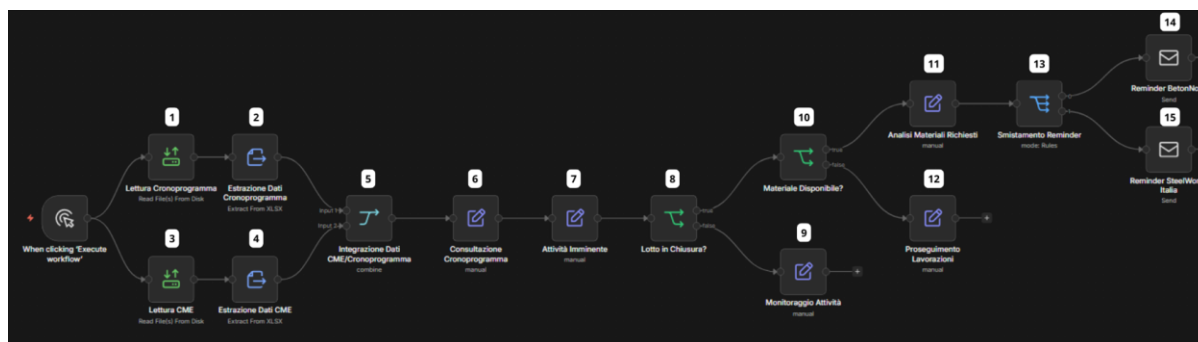


Figura 59 – Workflow di elaborazione richiesta con identificazione numerica dei nodi

La Figura 59 mostra la struttura complessiva del workflow sviluppato per l'elaborazione delle richieste di approvvigionamento e il monitoraggio operativo delle lavorazioni di cantiere. I diversi nodi sono stati numerati seguendo l'ordine logico di esecuzione del processo, permettendo di collegare la rappresentazione grafica del workflow alla descrizione tecnica delle singole operazioni implementate.

Il processo può essere suddiviso in differenti fasi operative: una prima fase di acquisizione ed estrazione delle informazioni provenienti dal cronoprogramma e dal computo metrico estimativo; una fase intermedia dedicata all'integrazione dei dati, alla consultazione delle attività previste e alla verifica dello stato dei lotti operativi; una fase conclusiva relativa al controllo della disponibilità dei materiali e alla generazione automatica dei promemoria destinati ai fornitori.

Di seguito vengono analizzati nel dettaglio i singoli nodi che compongono il workflow, indicando per ciascuno la funzione svolta, i principali parametri configurati, gli input ricevuti e gli output generati.

Nodo 1 - Lettura del Cronoprogramma

Il Nodo 1 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Read File(s) From Disk*” utilizzato per l’acquisizione del cronoprogramma delle lavorazioni all’interno del flusso automatizzato. Il nodo permette di importare il file Excel precedentemente archiviato nel percorso locale configurato (*Figura 16*), senza effettuare modifiche o elaborazioni sul contenuto del documento. L’obiettivo di questa fase è rendere disponibili i dati del cronoprogramma ai nodi successivi del workflow, dedicati all’estrazione e all’analisi delle informazioni relative alla programmazione temporale delle lavorazioni.

Tabella 7: Caratteristiche Nodo 1 di Figura 59

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk
Funzione	Acquisizione del file contenente il cronoprogramma delle lavorazioni
Input	File Excel del cronoprogramma presente nel percorso locale configurato
Parametri impostati	Percorso locale del file; modalità di lettura del documento in formato .xlsx
Output	File del cronoprogramma importato nel workflow e disponibile per le successive elaborazioni

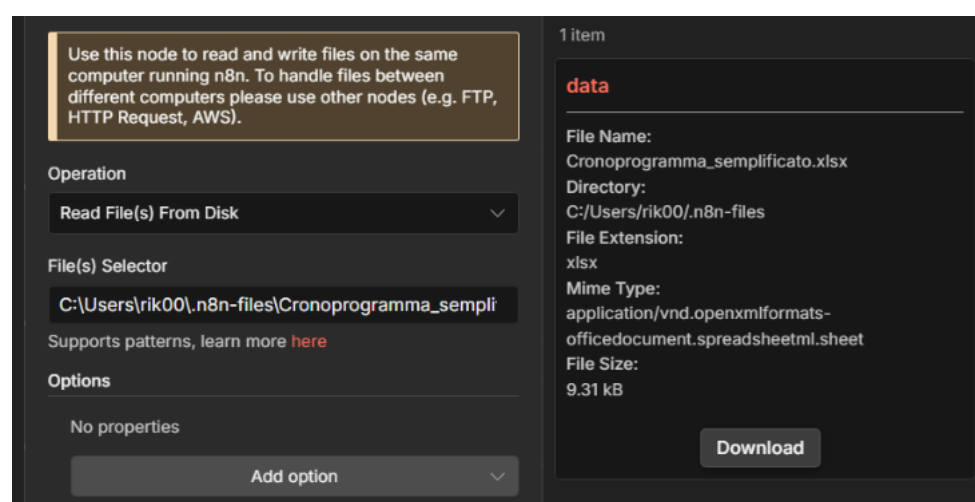


Figura 16 – Configurazione del nodo "Lettura del cronoprogramma" e output generato

Nodo 2 - Estrazione dei dati dal Cronoprogramma

Il Nodo 2 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Extract From XLSX*” utilizzato per l’elaborazione del file Excel acquisito nel nodo precedente (*Nodo 1*). Il nodo permette di trasformare il contenuto del cronoprogramma (*Figura 1*) in un formato strutturato utilizzabile all’interno del workflow, estraendo le informazioni relative alle lavorazioni previste e alla loro pianificazione temporale. I dati ottenuti, come codici WBS, codici delle lavorazioni, descrizioni, durate e date di esecuzione (*Figura 17*) costituiscono la base informativa utilizzata nelle successive fasi di analisi e collegamento con gli altri documenti di progetto.

Tabella 8: Caratteristiche Nodo 2 di Figura 59

Tipologia nodo	Extract From XLSX
Funzione	Estrazione e strutturazione dei dati contenuti nel cronoprogramma delle lavorazioni
Input	File .xlsx proveniente dal nodo Lettura del cronoprogramma
Parametri impostati	WBS, codice lavorazione, descrizione, durata, data di inizio e data di fine
Output	Tabella strutturata contenente le lavorazioni previste e le relative informazioni temporali

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026

Figura 17 – Output generato dal nodo "Estrazione dati dal cronoprogramma"

Nodo 3 - Lettura del Computo metrico estimativo

Il Nodo 3 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Read File(s) From Disk*” utilizzato per l’acquisizione del computo metrico estimativo relativo alle lavorazioni analizzate. Il nodo permette di importare il file Excel precedentemente archiviato nel percorso locale configurato, senza effettuare modifiche o elaborazioni sul contenuto del documento. L’obiettivo di questa fase è rendere disponibili i dati contenuti nel computo metrico ai nodi successivi del workflow, dedicati all’estrazione delle informazioni relative alle lavorazioni, alle quantità e alle tipologie di materiali previste dal progetto. L’output (*Figura 18*) rende disponibili i dati al successivo nodo di estrazione delle informazioni.

Tabella 9: Caratteristiche Nodo 3 di Figura 59

Tipologia nodo	Read File(s) From Disk
Funzione	Acquisizione del file contenente il computo metrico estimativo
Input	File Excel del computo metrico presente nel percorso locale configurato
Parametri impostati	Percorso locale del file da acquisire; modalità di lettura del documento in formato .xlsx
Output	File del computo metrico estimativo importato nel workflow e disponibile per le successive elaborazioni

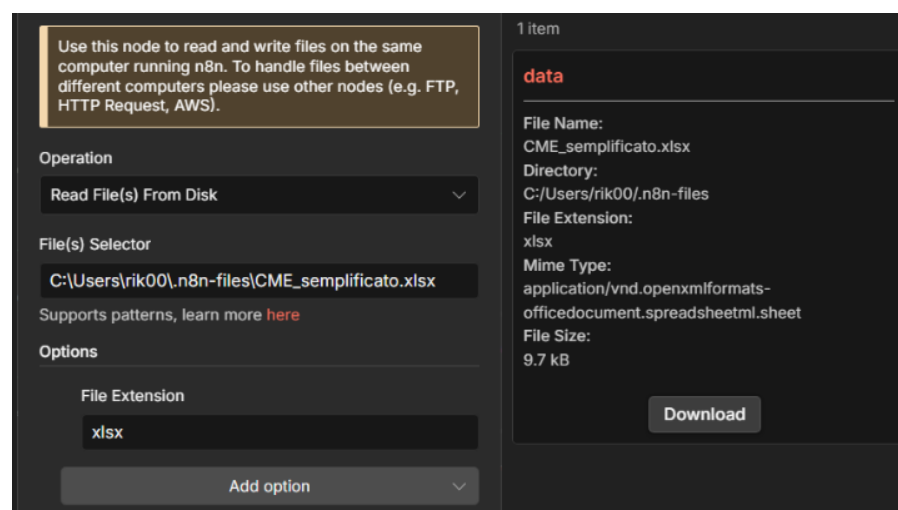


Figura 18 – Configurazione del nodo "Lettura del Computo metrico estimativo" e output generato

Nodo 4 - Estrazione dei dati dal computo metrico estimativo

Il Nodo 4 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Extract From XLSX*” utilizzato per l’elaborazione del computo metrico estimativo acquisito nella fase precedente. Il nodo permette di trasformare il contenuto del documento Excel in una struttura dati organizzata, rendendo disponibili al workflow le informazioni relative alle lavorazioni previste, alle quantità di materiale richieste e ai dati economici associati. Nel caso studio analizzato, l’estrazione è stata focalizzata sui materiali necessari alla realizzazione delle fondazioni, in particolare calcestruzzo strutturale CLS C28/35 e acciaio per cemento armato B450C (*Figura 4*). L’output ottenuto (*Figura 19*) rappresenta la base informativa utilizzata nelle successive fasi del workflow per collegare le quantità di materiale previste con la programmazione temporale delle lavorazioni.

Tabella 10: Caratteristiche Nodo 4 di Figura 59

Tipologia nodo	Extract From XLSX
Funzione	Estrazione e organizzazione delle informazioni contenute nel computo metrico estimativo
Input	File .xlsx del computo metrico proveniente dal nodo Lettura del computo metrico estimativo
Parametri impostati	WBS, codice lavorazione, descrizione, quantità, materiale, prezzo unitario e importo totale
Output	Tabella strutturata contenente lavorazioni, codici, quantità, materiali richiesti e dati economici associati

WBS	Codice	Lavorazione	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	66,861 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.889,598
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	132,84 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 15.675,12
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	67,743 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.993,674
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	54,4 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 6.419,20
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	49,2 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 5.805,60
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	72000 kg	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400

Figura 19 – Output generato dal nodo “Estrazione dei dati dal computo metrico”

Nodo 5 – Unione del computo metrico estimativo con il cronoprogramma

Il Nodo 5 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “Merge” utilizzato per integrare le informazioni provenienti dal computo metrico estimativo e dal cronoprogramma delle lavorazioni. La funzione del nodo è quella di combinare i dati tecnici ed economici relativi ai materiali e alle quantità previste con le informazioni temporali associate alle diverse attività di cantiere. Il nodo riceve quindi due flussi di dati distinti: il primo contenente le informazioni estratte dal computo metrico estimativo, relative a lavorazioni, materiali e quantità necessarie, e il secondo contenente le date di inizio e fine delle attività previste dal cronoprogramma. L’unione viene effettuata attraverso la modalità “Combine”, che permette di ottenere una struttura dati unica contenente le informazioni necessarie alla pianificazione degli approvvigionamenti. L’output generato (*Figura 21*) è costituito da una tabella strutturata in cui ogni lavorazione risulta associata ai materiali richiesti, alle quantità previste e alle relative tempistiche di esecuzione.

Tabella 11: Caratteristiche Nodo 5 di Figura 59

Tipologia nodo	Merge
Funzione	Unione delle informazioni provenienti dal computo metrico estimativo e dal cronoprogramma
Input	Dati relativi a lavorazioni, materiali e quantità; dati temporali associati alle lavorazioni
Parametri impostati	Modalità combine per combinare i due flussi informativi sulla base delle lavorazioni analizzate
Output	Tabella unica contenente lavorazioni, materiali, quantità previste e date di esecuzione

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine	Lavorazione	Quantità	Materiale	Prezzo	TOT.
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T1	66,861 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.889,598
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T2	132,84 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 15.675,12
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026	Plinti tipo T3	67,743 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 7.993,674
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 longitudinali	54,4 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 6.419,20
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026	Cordoli 50x60 trasversali	49,2 m³	CLS C28/35	€ 118,00	€ 5.805,60
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026	Armature fondazioni	72000 kg	Acciaio B450C	€ 1,20	€ 86.400

Figura 21 – Output generato dal nodo “Unione del computo metrico con cronoprogramma”

Nodo 6 – Consultazione del cronoprogramma

Il Nodo 6 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per organizzare le informazioni ottenute dall’integrazione tra cronoprogramma e computo metrico estimativo, predisponendo i dati necessari al monitoraggio delle lavorazioni programmate. Il nodo seleziona e struttura le informazioni principali relative alle attività di cantiere, consentendo di analizzare lo stato delle lavorazioni e pianificare eventuali necessità di approvvigionamento. Per la simulazione del processo, le lavorazioni relative agli elementi di fondazione sono state organizzate in categorie principali e i quantitativi complessivi dei materiali sono stati suddivisi in differenti lotti di fornitura. In particolare, l’*Ordine 1* rappresenta il primo lotto di materiale necessario per consentire l’avvio delle lavorazioni previste. L’output generato (*Figura 60*) consiste in una tabella organizzata contenente le lavorazioni programmate, le informazioni temporali associate e i dati relativi ai materiali disponibili, utilizzati dai nodi successivi per individuare le attività imminenti e valutare la necessità di ulteriori approvvigionamenti.

Tabella 22: Caratteristiche Nodo 6 di Figura 59

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Organizzazione delle informazioni necessarie al monitoraggio delle lavorazioni programmate
Input	Dataset ottenuto dall’unione tra cronoprogramma e computo metrico estimativo, contenente lavorazioni, materiali, quantità e informazioni temporali
Parametri impostati	Selezione dei campi relativi a lavorazione, date di esecuzione, durata prevista, materiali, lotti di fornitura e stato dell’attività
Output	Tabella strutturata contenente dati necessari al controllo delle lavorazioni e alla gestione dei successivi approvvigionamenti

n° Ordine	Stato Ordine	Durata (gg)	Inizio Lavorazioni	Fine Lavorazioni	Materiale	Quantità
1	TERMINATO	7	28/03/2026	05/04/2026	CLS C28/35	90
1	TERMINATO	7	28/03/2026	05/04/2026	Acciaio B450C	1200

Figura 60 – Output del nodo “Consultazione del cronoprogramma”

Nodo 7 – Attività imminente

Il Nodo 7 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per analizzare le informazioni temporali delle lavorazioni previste e determinare lo stato delle attività programmate. Il nodo elabora i dati provenienti dalla consultazione del cronoprogramma e confronta le date associate alle lavorazioni con una data di riferimento impostata nella simulazione. Attraverso questa elaborazione il workflow permette di individuare se una lavorazione risulta imminente, in corso oppure già conclusa, fornendo le informazioni necessarie per le successive verifiche relative allo stato dei lotti di approvvigionamento e alla disponibilità dei materiali necessari. L’output generato (*Figura 61*) consiste in una tabella contenente le informazioni operative delle lavorazioni analizzate, tra cui lotto di riferimento, stato dell’ordine, materiali associati, quantità previste e risultato del controllo temporale. Il valore relativo al controllo delle date rappresenta la differenza in giorni rispetto alla data di riferimento utilizzata: valori negativi indicano attività già concluse rispetto alla simulazione effettuata.

Tabella 23: Caratteristiche Nodo 7 di Figura 59

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Analisi temporale delle lavorazioni e individuazione dello stato delle attività programmate
Input	Dati provenienti dal nodo Consultazione del cronoprogramma contenenti lavorazioni, materiali, quantità e informazioni temporali
Parametri impostati	Confronto tra data di riferimento della simulazione e date previste dal cronoprogramma; valutazione dello stato dell’attività e dell’ordine
Output	Tabella contenente stato delle lavorazioni, lotti di riferimento, materiali associati e risultato del controllo temporale

n° Ordine	Stato Ordine	Durata (gg)	Inizio Lavorazioni	Fine Lavorazioni	Materiale	Quantità
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-81	CLS C28/35	90
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-81	Acciaio B450C	1200

Figura 61– Output del nodo “Attività imminente”

Nodo 8 – Lotto in chiusura?

Il Nodo 8 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “If” utilizzato per verificare lo stato di avanzamento del lotto di approvvigionamento analizzato e determinare se sia necessario procedere con ulteriori controlli sui materiali disponibili. Il nodo riceve le informazioni elaborate nella fase precedente e valuta se le lavorazioni associate al lotto risultano prossime alla conclusione (*Figura 62*). Questo nodo permette di simulare il monitoraggio operativo svolto durante la gestione del cantiere, individuando il momento in cui è necessario controllare la disponibilità dei materiali per garantire la continuità delle lavorazioni successive ed evitare interruzioni dovute alla mancanza di forniture. Attraverso una condizione logica impostata all’interno del nodo, il workflow viene suddiviso automaticamente in due possibili percorsi: nel caso in cui il lotto risulti in fase di chiusura viene avviata la verifica della disponibilità dei materiali successivi (*Nodo 10*), mentre in caso contrario il processo continua con il normale monitoraggio delle attività (*Nodo 9*).

Tabella 24: Caratteristiche Nodo 8 di Figura 59

Tipologia nodo	If
Funzione	Verifica dello stato del lotto e individuazione della necessità di controllare i materiali disponibili
Input	Dati provenienti dal nodo Attività imminente contenenti stato delle lavorazioni, lotto di riferimento, materiali e informazioni temporali
Parametri impostati	Condizione logica basata sullo stato del lotto e sul controllo temporale delle lavorazioni
Output	Suddivisione del workflow nei rami TRUE (lotto in chiusura e verifica materiali successivi) e FALSE (continuazione del monitoraggio ordinario)

n° Ordine	Stato Ordine	Durata (gg)	Inizio Lavorazioni	Fine Lavorazioni	Materiale	Quantità
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-81	CLS C28/35	90
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-81	Acciaio B450C	1200

Figura 62 – Output del nodo “Lotto in chiusura?”

Nodo 9 – Monitoraggio dell'attività

Il Nodo 9 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per gestire il ramo di monitoraggio ordinario delle attività di cantiere. Il nodo viene attivato nel caso in cui la verifica precedente stabilisca che il lotto analizzato non si trova in fase di chiusura e che quindi non sia necessario procedere con un nuovo controllo relativo agli approvvigionamenti. La funzione del nodo è quella di organizzare e mantenere disponibili le informazioni operative relative allo stato delle lavorazioni, ai materiali associati e alle quantità previste. In questo modo il workflow consente di proseguire il controllo delle attività senza generare nuove richieste ai fornitori quando i materiali disponibili risultano sufficienti per l'avanzamento del cantiere. L'output generato consiste in una struttura dati contenente le informazioni relative al lotto analizzato, allo stato dell'ordine, ai materiali disponibili e alla programmazione delle lavorazioni. Nel caso studio analizzato, avendo simulato il completamento del primo lotto di approvvigionamento, questo ramo non è stato attivato e non ha prodotto ulteriori elaborazioni.

Tabella 25: Caratteristiche Nodo 9 di Figura 59

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Gestione del monitoraggio ordinario delle attività senza generazione di nuove richieste di approvvigionamento
Input	Ramo FALSE proveniente dal nodo Lotto in chiusura? contenente informazioni relative a lotto, materiali, quantità e stato delle lavorazioni
Parametri impostati	Selezione dei campi necessari al monitoraggio operativo: materiale, quantità, stato ordine, lotto di riferimento e informazioni temporali
Output	Struttura dati per il controllo dello stato delle attività; nel test effettuato il ramo non è stato attivato poiché il lotto analizzato risultava in fase di chiusura

Nodo 10 – Materiale disponibile in cantiere?

Il Nodo 10 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “If” utilizzato per verificare la disponibilità dei materiali necessari alla prosecuzione delle lavorazioni previste. Il nodo viene attivato a seguito dell’identificazione di un lotto operativo in fase di chiusura e permette di controllare se le quantità disponibili risultano sufficienti oppure se è necessario procedere con una nuova fase di approvvigionamento. Questa verifica consente di simulare il controllo delle forniture effettuato durante la gestione operativa del cantiere, collegando lo stato di avanzamento delle lavorazioni con la disponibilità dei materiali necessari ai lotti successivi (*Figura 63*). Attraverso una condizione logica impostata all’interno del nodo, il workflow viene indirizzato automaticamente verso due differenti percorsi: nel caso in cui sia necessario procedere con una nuova verifica dei materiali, il processo continua con l’analisi delle quantità richieste (*Nodo 11*); in caso contrario il sistema prosegue con il monitoraggio ordinario delle lavorazioni (*Nodo 12*).

Tabella 26: Caratteristiche Nodo 10 di Figura 59

Tipologia nodo	If
Funzione	Verifica della disponibilità dei materiali necessari alla prosecuzione delle lavorazioni
Input	Ramo TRUE proveniente dal nodo Lotto in chiusura? contenente informazioni relative allo stato delle lavorazioni, materiali utilizzati e quantità disponibili
Parametri impostati	Condizione logica basata sulla disponibilità del materiale richiesto per i successivi lotti di approvvigionamento
Output	Suddivisione del workflow nei rami TRUE (verifica dei materiali per il successivo approvvigionamento) e FALSE (proseguimento del monitoraggio ordinario delle attività)

n° Ordine	Stato Ordine	Durata (gg)	Inizio Lavorazioni	Fine Lavorazioni	Materiale	Quantità
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-82	CLS C28/35	90
1	TERMINATO	7	28/03/2026	-82	Acciaio B450C	1200

Figura 63 – Output del nodo “Materiale disponibile in cantiere?”

Nodo 11 – Analisi dei materiali richiesti

Il Nodo 11 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per organizzare le informazioni relative ai materiali necessari alla prosecuzione delle lavorazioni previste. Il nodo viene attivato a seguito della verifica della disponibilità dei materiali e ha l’obiettivo di predisporre un riepilogo operativo del successivo lotto di approvvigionamento. Nel workflow sviluppato viene simulata la gestione di un secondo lotto di fornitura, identificato come “Ordine 2”, generato in seguito alla conclusione del primo lotto operativo. In questa fase vengono quindi individuati i materiali da richiedere, le quantità previste e le tempistiche entro cui programmare la consegna, in modo da garantire la continuità delle attività di cantiere. L’output generato (*Figura 64*) consiste in una tabella riepilogativa contenente le informazioni relative al nuovo lotto di approvvigionamento, successivamente utilizzate per la generazione automatica dei reminder destinati ai fornitori.

Tabella 27: Caratteristiche Nodo 11 di Figura 59

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Organizzazione delle informazioni relative al successivo lotto di approvvigionamento
Input	Ramo TRUE proveniente dal nodo Materiale disponibile in cantiere? contenente i dati relativi ai materiali necessari per la prosecuzione delle lavorazioni
Parametri impostati	Selezione dei campi relativi a numero ordine, materiale richiesto, quantità prevista e data programmata di consegna
Output	Tabella riepilogativa contenente le informazioni del lotto di approvvigionamento successivo utilizzate per la generazione dei reminder ai fornitori

Ordine	Materiale	Quantità	Entro
Ordine 2	CLS C28/35	90	01/04/2026
Ordine 2	Acciaio B450C	1200	01/04/2026

Figura 64 – Output nodo “Analisi dei materiali richiesti”

Nodo 12 – Proseguimento delle lavorazioni

Il Nodo 12 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “*Edit Fields*” utilizzato per gestire il normale avanzamento delle attività di cantiere nel caso in cui non sia necessario procedere con una nuova richiesta di approvvigionamento. Il nodo rappresenta il ramo alternativo della verifica sulla disponibilità dei materiali e viene attivato quando le quantità presenti risultano sufficienti per garantire la prosecuzione delle lavorazioni programmate. La funzione del nodo è quella di mantenere organizzate le informazioni operative relative allo stato delle attività, ai materiali associati e all’avanzamento del lotto considerato, permettendo il monitoraggio del processo senza generare nuove comunicazioni verso i fornitori. L’output generato consiste in una struttura dati contenente le informazioni relative alla prosecuzione ordinaria delle lavorazioni previste dal cronoprogramma. Nel caso studio analizzato, essendo stata simulata la conclusione del primo lotto operativo e la conseguente necessità di predisporre un secondo ordine di materiale, questo ramo del workflow non è stato attivato e non ha prodotto ulteriori elaborazioni.

Tabella 28: Caratteristiche Nodo 12 di Figura 59

Tipologia nodo	Edit Fields
Funzione	Gestione della prosecuzione delle lavorazioni senza necessità di nuovo approvvigionamento
Input	Ramo FALSE proveniente dal nodo Materiale disponibile in cantiere? contenente informazioni relative allo stato delle lavorazioni e dei materiali analizzati
Parametri impostati	Organizzazione dei campi relativi a stato delle lavorazioni, materiali associati e avanzamento del lotto considerato
Output	Struttura dati per il monitoraggio ordinario delle lavorazioni; nel caso simulato il ramo non viene attivato

Nodo 13 – Smistamento dei promemoria ai fornitori

Il Nodo 13 del workflow (*Figura 59*) è un nodo di tipo “Switch” utilizzato per suddividere automaticamente il flusso di elaborazione in funzione della tipologia di materiale richiesto per il successivo lotto di approvvigionamento. Il nodo riceve le informazioni relative ai materiali necessari e indirizza ciascuna richiesta verso il ramo corrispondente al relativo fornitore. Questa elaborazione consente di differenziare le comunicazioni generate dal workflow, permettendo una gestione separata dei promemoria relativi alle diverse forniture necessarie per la prosecuzione delle lavorazioni di fondazione. Nel caso studio analizzato sono stati configurati due percorsi distinti: uno relativo al calcestruzzo strutturale e uno relativo all'acciaio per cemento armato. L'output generato consiste nella suddivisione automatica del workflow in due rami: il primo dedicato alla generazione del reminder per la fornitura del calcestruzzo (*Figura 65*) e il secondo relativo alla comunicazione destinata al fornitore dell'acciaio (*Figura 66*).

Tabella 29: Caratteristiche Nodo 13 di Figura 59

Tipologia nodo	Switch
Funzione	Smistamento automatico dei promemoria in base alla tipologia di materiale richiesto
Input	Dati provenienti dal nodo Analisi dei materiali richiesti contenenti informazioni sul nuovo lotto, materiale richiesto, quantità prevista e data di consegna
Parametri impostati	Condizione di controllo basata sulla tipologia di materiale: calcestruzzo strutturale e acciaio per cemento armato
Output	Suddivisione del workflow nei rami dedicati alla generazione dei promemoria per il fornitore di calcestruzzo e per il fornitore di acciaio

Ordine	Materiale	Quantità	Entro
Ordine 2	CLS C28/35	90	01/04/2026

Figura 65 – Output 0: Ramo dedicato alla elaborazione dell'ordine di fornitura del calcestruzzo

Ordine	Materiale	Quantità	Entro
Ordine 2	Acciaio B450C	1200	01/04/2026

Figura 66 – Output 1: Ramo dedicato alla elaborazione dell'ordine di fornitura dell'acciaio

Nodo 14 – Promemoria per il fornitore di calcestruzzo

Premessa: Le richieste di approvvigionamento generate dal workflow sono state sviluppate con finalità dimostrative nell’ambito del caso studio. Per questo motivo gli indirizzi mail utilizzati sono stati configurati in modo simulato, mantenendo tuttavia la struttura del processo reale.

Il Nodo 14 del workflow (Figura 59) è un nodo di tipo “Send Email” utilizzato per generare automaticamente una comunicazione operativa destinata al fornitore del calcestruzzo strutturale. Il nodo rappresenta la fase conclusiva del ramo dedicato alla gestione del calcestruzzo e permette di predisporre un promemoria relativo al successivo lotto di approvvigionamento. L’output generato consiste in una e-mail automatica indirizzata al fornitore del calcestruzzo contenente un promemoria relativo al successivo lotto di approvvigionamento.

Tabella 30: Caratteristiche Nodo 14 di Figura 59

Tipologia nodo	Send Email
Funzione	Generazione automatica del promemoria relativo alla fornitura di calcestruzzo
Input	Ramo dedicato al calcestruzzo proveniente dal nodo Smistamento dei promemoria ai fornitori, contenente materiale richiesto, quantità prevista e data di consegna
Parametri impostati	Destinatario della mail, oggetto del messaggio e template HTML contenente corpo della comunicazione e campi dinamici
Output	E-mail automatica contenente il riepilogo operativo del successivo lotto di fornitura del calcestruzzo



Figura 67 – E-mail generata dal nodo “Promemoria per il fornitore di calcestruzzo”

La comunicazione riporta l'avviso relativo al prossimo esaurimento del materiale disponibile in cantiere e include una tabella riepilogativa con le principali informazioni necessarie alla gestione della fornitura, tra cui numero dell'ordine, tipologia di materiale, quantità richiesta e data prevista di consegna (*Figura 67*).

La mail viene generata attraverso un template HTML (*Figura 68*) configurato all'interno del nodo "Send Email". Nel template sono stati impostati l'oggetto della comunicazione e il corpo della mail, strutturato in modo da informare il fornitore del prossimo esaurimento del materiale disponibile e della necessità di programmare il lotto successivo di approvvigionamento. All'interno del template sono stati inseriti campi dinamici collegati agli output generati dal workflow, che permettono di compilare automaticamente la tabella riepilogativa presente nella comunicazione:

- Ordine: {{\$json["Ordine"]}}
- Materiale: {{\$json["Materiale"]}}
- Quantità: {{\$json["Quantità (m³)"]}}
- Data consegna: {{\$json["Data Consegna"]}}

```

{{
  \
  <p>Buongiorno,</p>

  <p>
  si comunica che il materiale relativo alle lavorazioni in
  corso presso il cantiere del nuovo centro commerciale sito
  in Via Dante Alighieri 8, Valleverde, Pesaro, risulta
  prossimo all'esaurimento.
  </p>

  <p>
  Si richiede pertanto verifica della disponibilità per il
  successivo lotto operativo.
  </p>

  <table border="1" cellpadding="6" cellspacing="0"
  style="border-collapse: collapse; width: 60%; text-align:
  center;">
    <tr>
      <th>Ordine</th>
      <th>Materiale</th>
      <th>Quantità (m³)</th>
      <th>Consegna entro</th>
    </tr>
    <tr>
      <td>Ordine 2</td>
      <td>{{$json["Materiale"]}</td>
      <td>{{$json["Quantità"]}</td>
      <td>{{$json["Entro"]}</td>
    </tr>
  </table>

  <br>

  <p>
  Si richiede cortesemente conferma della disponibilità del
  materiale.
  </p>

  <p>
  Cordiali saluti
  </p>

  <p>
  Tecnico di Cantiere<br>
  Ufficio Operativo
  </p>
  \
}}
```

Figura 68 – Configurazione del template HTML nel nodo "Promemoria per il fornitore di calcestruzzo"

Nodo 15 – Promemoria per il fornitore dell'acciaio

Premessa: Le richieste di approvvigionamento generate dal workflow sono state sviluppate con finalità dimostrative nell'ambito del caso studio. Per questo motivo gli indirizzi mail utilizzati sono stati configurati in modo simulato, mantenendo tuttavia la struttura del processo reale.

Il Nodo 15 del workflow (Figura 59) è un nodo di tipo “Send Email” utilizzato per generare automaticamente una comunicazione operativa destinata al fornitore dell'acciaio. Il nodo rappresenta la fase conclusiva del ramo dedicato alla gestione dell'acciaio e permette di predisporre un promemoria relativo al successivo lotto di approvvigionamento. L'output generato (Figura 69) consiste in una e-mail automatica indirizzata al fornitore del calcestruzzo contenente un promemoria relativo al successivo lotto di approvvigionamento.

Tabella 31: Caratteristiche Nodo 15 di Figura 59

Tipologia nodo	Send Email
Funzione	Generazione automatica del promemoria relativo alla fornitura di acciaio
Input	Ramo dedicato all'acciaio proveniente dal nodo Smistamento dei promemoria ai fornitori, contenente materiale richiesto, quantità prevista e data di consegna
Parametri impostati	Destinatario della mail, oggetto del messaggio e template HTML contenente corpo della comunicazione e campi dinamici
Output	E-mail automatica contenente il riepilogo operativo del successivo lotto di fornitura di acciaio

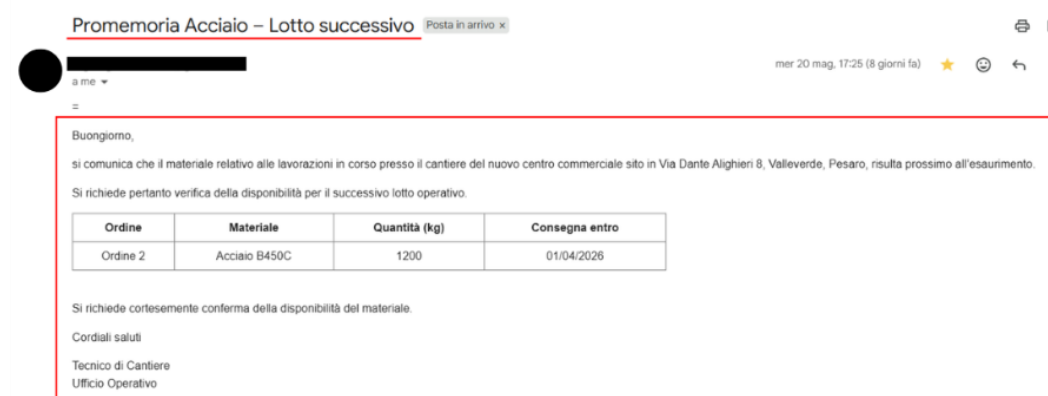


Figura 69 – E-mail generata dal nodo “Promemoria per il fornitore di acciaio”

La comunicazione riporta l'avviso relativo al prossimo esaurimento del materiale disponibile in cantiere e include una tabella riepilogativa con le principali informazioni necessarie alla gestione della fornitura, tra cui numero dell'ordine, tipologia di materiale, quantità richiesta e data prevista di consegna.

La comunicazione viene generata attraverso un template HTML (*Figura 70*) configurato all'interno del nodo "Send Email". Nel template sono stati impostati l'oggetto della comunicazione e il corpo della mail, strutturato in modo da informare il fornitore del prossimo esaurimento del materiale disponibile e della necessità di programmare il lotto successivo di approvvigionamento. All'interno del template sono stati inseriti campi dinamici collegati agli output generati dal workflow, che permettono di compilare automaticamente la tabella riepilogativa presente nella comunicazione:

- Ordine: {{\$json["Ordine"]}}
- Materiale: {{\$json["Materiale"]}}
- Quantità: {{\$json["Quantità (kg)"]}}
- Data consegna: {{\$json["Data Consegna"]}}

```
={{
\
<p>Buongiorno,</p>

<p>
si comunica che il materiale relativo alle lavorazioni in
corso presso il cantiere del nuovo centro commerciale sito
in Via Dante Alighieri 8, Valleverde, Pesaro, risulta
prossimo all'esaurimento.
</p>

<p>
Si richiede pertanto verifica della disponibilità per il
successivo lotto operativo.
</p>

<table border="1" cellpadding="6" cellspacing="0"
style="border-collapse: collapse; width: 60%; text-align:
center;">
  <tr>
    <th>Ordine</th>
    <th>Materiale</th>
    <th>Quantità (kg)</th>
    <th>Consegna entro</th>
  </tr>

  <tr>
    <td>Ordine 2</td>
    <td>{{$json["Materiale"]}</td>
    <td>{{$json["Quantità"]}</td>
    <td>{{$json["Entro"]}</td>
  </tr>
</table>

<br>

<p>
Si richiede cortesemente conferma della disponibilità del
materiale.
</p>

<p>
Cordiali saluti
</p>

<p>
Tecnico di Cantiere<br>
Ufficio Operativo
</p>
\
}}
```

Figura 70 – Configurazione del template HTML nel nodo "Promemoria per il fornitore di acciaio"

4.8 Verifiche sul corretto funzionamento del flusso

Terminata la fase di configurazione dei nodi, il workflow è stato sottoposto ad una serie di verifiche finalizzate a controllare il corretto funzionamento delle elaborazioni relative al monitoraggio delle lavorazioni e alla gestione automatizzata dei promemoria ai fornitori.

Le prove effettuate (*Tabella 32*) hanno avuto l'obiettivo di verificare la corretta integrazione tra le informazioni provenienti dal cronoprogramma e dal computo metrico estimativo, il controllo dello stato delle attività operative e la generazione delle comunicazioni necessarie alla gestione degli approvvigionamenti.

Per ogni fase analizzata è stato effettuato un confronto tra i dati forniti in ingresso e gli output prodotti dal workflow, individuando esplicitamente il nodo o il gruppo di nodi responsabile della specifica elaborazione.

Tabella 32: Sommario delle verifiche effettuate

	Verifica
1	Corretta consultazione del cronoprogramma
2	Corretto invio del promemoria ai fornitori

4.8.1 Verifica della corretta consultazione del cronoprogramma

La prima verifica (*Figura 71*) ha riguardato la capacità del workflow di elaborare le informazioni temporali relative alle lavorazioni previste dal cronoprogramma.



Figura 71 - Nodo del workflow coinvolto nella verifica

Questa fase viene gestita dai nodi “*Consultazione del cronoprogramma*” e “*Attività imminente*”. Il primo organizza le informazioni provenienti dall’unione tra computo metrico e cronoprogramma, mentre il secondo effettua l’analisi temporale necessaria a determinare lo stato della lavorazione rispetto alla data di riferimento della simulazione.

Per permettere l’elaborazione automatizzata delle informazioni è stato utilizzato il documento integrativo “*Cronoprogramma_n8n.xlsx*”, ottenuto a partire dal cronoprogramma originale e strutturato in formato tabellare (*Figura 43*).

WBS	Codice	Descrizione	Durata (gg)	Inizio	Fine
3.1	FND-T1	Plinti tipo T1	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T2	Plinti tipo T2	30	28/03/2026	28/04/2026
3.1	FND-T3	Plinti tipo T3	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C01	Cordoli 50x60 longitudinali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.2	FND-C02	Cordoli 50x60 trasversali	30	28/03/2026	28/04/2026
3.3	ACC-FND	Armature fondazioni	30	28/03/2026	28/04/2026

Figura 43 – Documento integrativo “Cronoprogramma_n8n.xlsx” utilizzato dal workflow

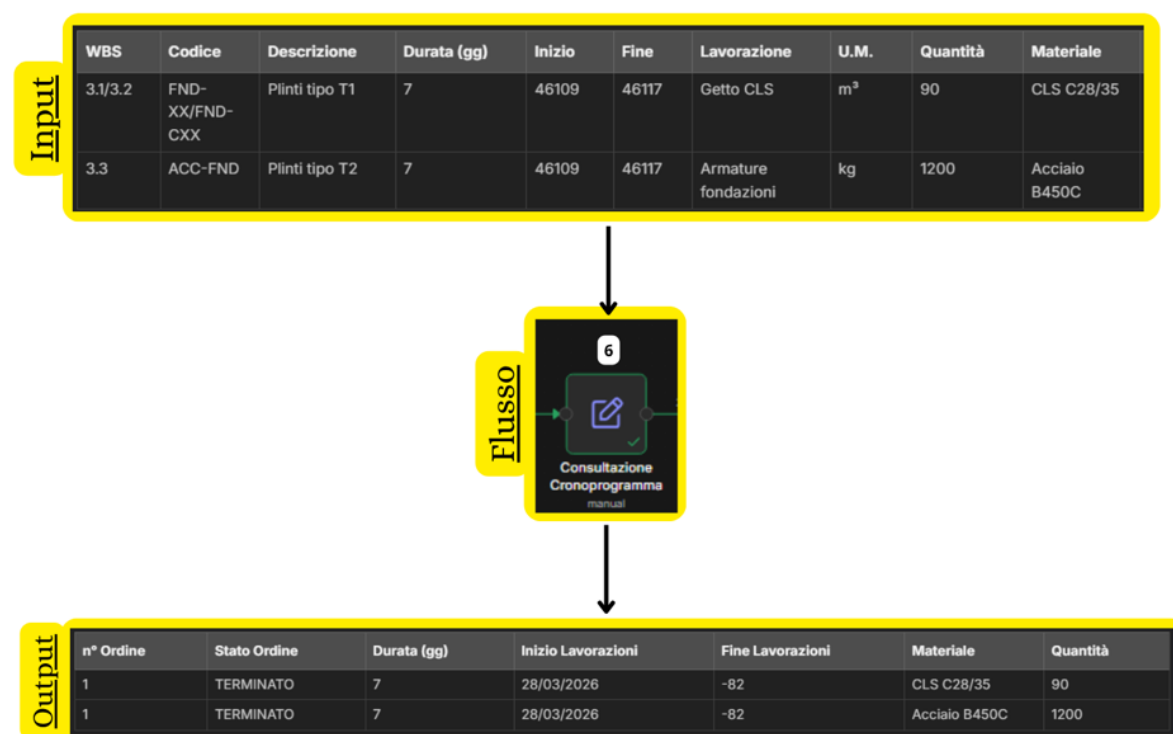


Figura 72 – Visualizzazione del processo di verifica della corretta consultazione del cronoprogramma

Nel caso analizzato, il workflow (Figura 72) ha rilevato uno scostamento temporale pari a -82 giorni rispetto alla data di inizio prevista per l'Ordine 1. Il valore risulta coerente con la data di esecuzione della simulazione (25/06/2026) e con la data di inizio lavorazioni indicata nel cronoprogramma (28/03/2026).

Il valore negativo rappresenta quindi una lavorazione già avviata rispetto alla data utilizzata come riferimento, consentendo al workflow di proseguire con le successive verifiche relative allo stato del lotto operativo.

4.8.2 Verifica del corretto invio del promemoria ai fornitori

La verifica finale (*Figura 73*) ha riguardato la generazione automatica delle comunicazioni operative destinate ai fornitori dei materiali necessari alle successive lavorazioni di cantiere.



Figura 73 - Nodi del workflow coinvolti nella verifica

Il nodo “Analisi dei materiali richiesti” organizza le informazioni relative al nuovo lotto di approvvigionamento, individuando materiale necessario, quantità prevista e data entro cui programmare la consegna. Successivamente, il nodo “*Smistamento dei promemoria ai fornitori*” suddivide automaticamente il flusso in funzione della tipologia di materiale, indirizzando la richiesta verso il relativo fornitore.

Nel caso analizzato il workflow genera due differenti comunicazioni:

- richiesta relativa al calcestruzzo strutturale indirizzata a “*BetonNord*”
- richiesta relativa all’acciaio indirizzata a “*SteelWorks Italia*”

I nodi finali Send Email utilizzano i template HTML configurati precedentemente e compilano automaticamente il messaggio con le informazioni elaborate dal workflow.

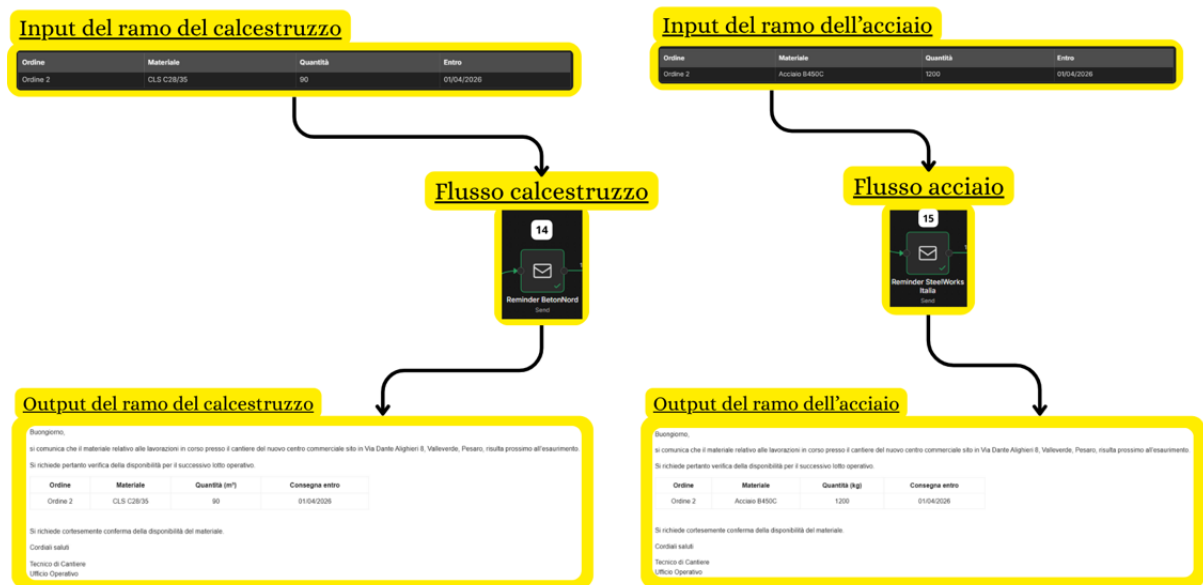


Figura 74 – Visualizzazione del processo di verifica del corretto invio del promemoria ai fornitori

Le mail generate (Figura 74) contengono il riepilogo operativo dell'approvvigionamento richiesto, riportando materiale, quantità prevista e data di consegna necessaria alla prosecuzione delle lavorazioni.

I dati personali presenti nelle comunicazioni sono stati opportunamente censurati ai fini della redazione della tesi.

La *Tabella 33* riassume le principali verifiche effettuate e il relativo esito ottenuto.

Tabella 33: Riassunto delle verifiche effettuate sul workflow

	Verifica	Risultato
1	Corretta consultazione del cronoprogramma	 Success
2	Corretto invio del promemoria ai fornitori	 Success

Al termine delle verifiche sui singoli passaggi del processo è stata effettuata un'esecuzione completa del workflow, al fine di controllare il corretto funzionamento dell'intera sequenza di elaborazione (*Figura 75*).



Figura 75 – Esecuzione completa del workflow su n8n

4.9 Criticità riscontrate

Durante lo sviluppo del workflow è stata individuata una limitazione legata alla gestione dei differenti lotti di approvvigionamento dei materiali.

Nel modello implementato, la suddivisione delle forniture in più fasi operative è stata rappresentata attraverso la definizione di ordini successivi (*“Ordine 1”*, *“Ordine 2”*), con l’obiettivo di simulare l’avanzamento delle lavorazioni e la necessità di programmare nuove richieste ai fornitori.

Questa impostazione risulta adeguata alla validazione del workflow sviluppato, in quanto permette di verificare il corretto funzionamento delle logiche di controllo, dello smistamento dei materiali e della generazione automatica dei promemoria. Tuttavia, in un’applicazione operativa reale sarebbe necessario introdurre un sistema maggiormente dinamico per la gestione dello stato di avanzamento delle lavorazioni.

4.10 Considerazioni complessive sui flussi programmati

Lo sviluppo dei workflow automatizzati ha permesso di valutare l'applicazione di strumenti digitali a supporto della gestione delle informazioni relative agli approvvigionamenti di cantiere.

A partire dall'analisi del processo operativo e dalla successiva modellazione BPMN, sono stati individuati specifici sub processi caratterizzati da attività ripetitive e da un'elevata necessità di consultazione e integrazione dei dati. Tali attività sono state successivamente implementate attraverso workflow automatizzati sviluppati mediante la piattaforma n8n. L'integrazione tra Cronoprogramma, Computo Metrico Estimativo, elaborati strutturali e informazioni relative ai fornitori ha consentito di realizzare un sistema in grado di collegare informazioni provenienti da fonti differenti, supportando le figure tecniche nella consultazione della documentazione, nell'organizzazione degli approvvigionamenti e nella gestione delle comunicazioni operative. I workflow sviluppati non hanno l'obiettivo di sostituire il ruolo decisionale delle figure coinvolte nel processo, ma rappresentano uno strumento di supporto alla gestione delle informazioni. Le decisioni operative rimangono infatti affidate ai tecnici di cantiere e al capo commessa, mentre l'automazione permette di ridurre alcune attività manuali legate alla ricerca, organizzazione e trasferimento dei dati. Durante la fase di sviluppo sono state individuate alcune criticità principalmente legate alla qualità e alla struttura dei documenti utilizzati. La presenza di informazioni distribuite in file differenti e in formati non sempre direttamente elaborabili ha evidenziato l'importanza della standardizzazione dei dati di input per garantire una corretta elaborazione automatica. Un ulteriore aspetto emerso riguarda la gestione dell'avanzamento operativo delle lavorazioni. Nel workflow implementato, la suddivisione dei lotti di approvvigionamento è stata simulata attraverso ordini progressivi, mentre in un'applicazione reale sarebbe possibile integrare sistemi basati su milestones operative collegate direttamente allo stato di avanzamento del cantiere. Le verifiche effettuate hanno comunque confermato la capacità dei workflow sviluppati di elaborare correttamente le informazioni disponibili e trasformarle in dati strutturati utilizzabili per il supporto alla gestione delle forniture.

CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha affrontato il tema della digitalizzazione dei processi informativi di cantiere, analizzando in particolare le possibilità offerte dagli strumenti di automazione workflow a supporto della gestione delle forniture e delle informazioni operative.

L'attività svolta ha evidenziato come, prima dell'introduzione di qualsiasi soluzione digitale, sia fondamentale effettuare un'analisi approfondita dei processi esistenti. La modellazione BPMN ha rappresentato in questo senso uno strumento utile per descrivere le attività svolte dalle diverse figure coinvolte, individuare i flussi informativi presenti e identificare le operazioni caratterizzate da maggiore ripetitività e quindi maggiormente predisposte ad una possibile automazione.

La successiva implementazione dei workflow ha permesso di verificare come alcune attività normalmente svolte attraverso procedure manuali possano essere supportate mediante strumenti digitali. Operazioni come la ricerca delle informazioni all'interno della documentazione tecnica, l'organizzazione dei dati provenienti da fonti differenti e la gestione delle comunicazioni operative rappresentano esempi di attività in cui l'automazione può contribuire ad una maggiore efficienza del processo.

Un aspetto emerso durante lo sviluppo riguarda tuttavia l'importanza della qualità delle informazioni utilizzate. L'efficacia dei sistemi automatizzati dipende infatti fortemente dalla disponibilità di dati corretti, strutturati e facilmente interpretabili. La presenza di documentazione non uniforme o organizzata principalmente per una consultazione manuale può rappresentare un limite nell'applicazione di tali strumenti, evidenziando la necessità di una progressiva standardizzazione nella gestione delle informazioni.

È inoltre importante sottolineare come l'automazione non debba essere interpretata come una sostituzione delle figure tecniche coinvolte nel processo edilizio, ma come uno strumento di supporto alle attività decisionali e organizzative.

Il controllo, l'esperienza e la capacità di valutazione del tecnico rimangono elementi fondamentali per garantire la corretta gestione delle informazioni e la validazione dei risultati ottenuti.

Il lavoro sviluppato rappresenta quindi un esempio applicativo di come l'integrazione tra analisi dei processi, modellazione BPMN e strumenti di automazione possa contribuire alla gestione più strutturata delle informazioni all'interno del cantiere.

Dallo studio effettuato e dalla documentazione analizzata emerge infine come il settore delle costruzioni stia progressivamente orientandosi verso una maggiore digitalizzazione dei processi. L'introduzione di strumenti capaci di collegare informazioni, automatizzare attività ripetitive e supportare il coordinamento tra le diverse figure coinvolte rappresenta una delle possibili direzioni evolutive dell'edilizia, con l'obiettivo di rendere i processi sempre più integrati, controllabili ed efficienti.

BIBLIOGRAFIA

[1] von Rosing M., White S., Cummins F., de Man H.

Business Process Model and Notation – BPMN, in *The Complete Business Process Handbook*. Elsevier, 2015.

[2] Tran S.V.T., Yang J., Hussain R., Khan N., Kimito E.C., Pedro A., Soltani M., Lee U.K.,

Park C. *Leveraging Large Language Models for Enhanced Construction Safety Regulation Extraction*. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 29, pp. 1026–1038, 2024.

[3] Cheng S., Qi Y., Wu R., Guan Y.

A Multimodal Agent Framework for Construction Scenarios: Accurate Perception, Dynamic Retrieval, and Explainable Hazard Reasoning. Buildings, Vol. 15, No. 24, Article 4439, 2025.

[4] Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36.

Codice dei contratti pubblici – Allegato I.7: Contenuti minimi della progettazione.

Art. 30 (Cronoprogramma), Art. 31 (Elenco prezzi unitari, computo metrico estimativo e quadro economico), Art. 32 (Schema di contratto e capitolato speciale d'appalto).

Disponibile su: Normattiva – Il portale della legge vigente.

[5] Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81.

Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro – Titolo IV: Cantieri temporanei o mobili.

Art. 89 (Definizioni), Art. 100 (Piano di sicurezza e coordinamento) e Allegato XV (Contenuti minimi dei piani di sicurezza).

Disponibile su: BibLus – ACCA Software

SITOGRAFIA

[6] n8n Documentation

Workflow automation platform documentation.

Disponibile su:

<https://docs.n8n.io/>

[7] n8n Documentation

Core Nodes – Built-in integrations and workflow nodes.

Disponibile su:

<https://docs.n8n.io/integrations/builtin/core-nodes/>

[8] n8n Tutorial

YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=M17vS0ywkug>

(consultato il 07/05/2026).

RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo percorso desidero ringraziare tutte le persone che, in modi diversi, hanno contribuito al raggiungimento di questo importante traguardo.

Desidero innanzitutto ringraziare il mio relatore, il Prof. Alessandro Carbonari, per la disponibilità, il supporto e i preziosi consigli forniti durante lo sviluppo di questo lavoro di tesi. Le sue indicazioni sono state fondamentali per guidare l'evoluzione del progetto e approfondire le tematiche affrontate.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, che mi è sempre stata accanto durante questo percorso. Ringrazio mia mamma e mio padre per il sostegno, la fiducia e i sacrifici fatti per permettermi di arrivare fino a questo momento. Grazie per aver creduto in me e per essere sempre stati un punto di riferimento.

Ringrazio mia sorella, per la sua presenza, il suo supporto e per essermi stata vicina durante questi anni.

Ringrazio inoltre tutta la mia famiglia e tutte le persone che mi hanno accompagnato lungo questo percorso, condividendo con me momenti importanti, difficoltà e soddisfazioni.

Infine, voglio ringraziare me stesso, per l'impegno, la costanza e la determinazione dimostrati. Per non essermi fermato davanti alle difficoltà e per aver portato a termine un percorso che rappresenta un'importante fase della mia crescita personale e professionale.