

**Impianto Produzione Moduli – Relazione Tecnica Impianti di  
Produzione del Calcestruzzo e Vapore**

---

Codice **DN DN 00109** Fase del progetto **Preliminare** Data **25/02/2016** Pag. **1**

---



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>  <b>REVISIONE 01</b>
--	---



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE STAZIONE DI BETONAGGIO.....</b>	<b>5</b>
3.1	DESCRIZIONE MODULO (CORPO MODULO E COPERCHIO).....	5
3.2	COMPOSIZIONE CALCESTRUZZO .....	6
3.3	COMPONENTI IMPIANTO DI BETONAGGIO .....	7
3.4	SISTEMI DI CONTROLLO E COMANDO IMPIANTO BETONAGGIO .....	8
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE FUNZIONALE STAZIONE DI BETONAGGIO .....</b>	<b>10</b>
4.1	QUANTITÀ MATERIALI E CAPACITÀ DI STOCCAGGIO IMPIANTO .....	10
4.2	DESCRIZIONE E DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE STAZIONE DI BETONAGGIO .....	12
4.3	PROCESSO PRODUTTIVO E GETTO CALCESTRUZZO .....	16
4.4	DEFINIZIONE DEI TEMPI DI PRODUZIONE E GETTO DEL CALCESTRUZZO .....	18
4.5	IMPIANTO DI LAVAGGIO E GESTIONE DELLE ACQUE (BETONAGGIO).....	22
<b>5</b>	<b>STAGIONATURA ACCELERATA E PRODUZIONE DEL VAPORE.....</b>	<b>25</b>
5.1	IMPIANTO E COMPONENTISTICA .....	25
5.2	SISTEMA DI COMANDO E CONTROLLO.....	28
5.3	PROCESSO E TEMPISTICA.....	28
5.4	IMPIANTO DI LAVAGGIO E GESTIONE DELLE ACQUE (GETTO E MATURAZIONE).....	30
<b>6</b>	<b>NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>33</b>

Relazione Tecnica	ELABORATO DN DN 00109
Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore	REVISIONE 01



## 1 PREMESSA

Sogin S.p.A. è stata designata, attraverso il D.lgs. n.31 del 15 febbraio 2010 e successive modifiche e integrazioni, quale soggetto responsabile della localizzazione, realizzazione e dell'esercizio del Deposito Nazionale e Parco Tecnologico (DNPT) per lo 'smaltimento a titolo definitivo' dei rifiuti radioattivi di bassa e media attività (ex II categoria secondo [Rif. 2] – attività molto bassa e a bassa attività [Rif. 20] - VLLW e LLW secondo [Rif. 1]) e all'immagazzinamento, a 'titolo provvisorio di lunga durata', dei rifiuti radioattivi ad alta attività e del combustibile irraggiato provenienti dalla pregressa gestione di impianti nucleari (ex III Categoria secondo [Rif. 2] – media attività e alta attività [Rif. 20] - ILW e HLW secondo [Rif. 1]).

Nell'ambito dell'incarico ricevuto, la Sogin dovrà:

- gestire le attività finalizzate alla localizzazione del sito per il Deposito Nazionale e Parco Tecnologico
- curare le attività connesse alla progettazione ed al procedimento autorizzativo relativo alla realizzazione ed esercizio del DNPT
- provvedere alla realizzazione e all'esercizio del DNPT

Il Deposito Nazionale sarà composto da due strutture principali di superficie, progettate sulla base delle migliori esperienze internazionali e secondo i più recenti standard IAEA (International Atomic Energy Agency): un deposito per lo 'smaltimento a titolo definitivo' dei rifiuti di bassa e media attività e un deposito per l'immagazzinamento a 'titolo provvisorio di lunga durata' dei rifiuti ad alta attività (denominato Complesso Stoccaggio Alta attività - CSA).

Nell'ambito della progettazione preliminare del DNPT, nell'Impianto Produzione Moduli (IPM) saranno fabbricati i Moduli, contenitori prismatici in calcestruzzo destinati ad accogliere i manufatti contenenti rifiuti radioattivi. Il Modulo costituisce l'unità elementare di stoccaggio del deposito (impianto USM). Esso sarà confezionato nell'ICM da cui, dopo essere stato cementato e sigillato, verrà trasportato all'USM dove sarà collocato definitivamente.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



## 2 SCOPO

La presente relazione contiene la descrizione degli impianti di betonaggio atti a produrre il calcestruzzo per la fabbricazione dei moduli, le stazioni per la produzione del vapore saturo a bassa pressione per eseguire il processo di maturazione accelerata dei getti nell'Impianto Produzione Moduli (IPM), definiti nell'ambito del progetto preliminare del Deposito Nazionale e Parco Tecnologico finalizzato alla pubblicazione e presentazione al Seminario Nazionale.

Il presente documento descrive le caratteristiche, le logiche di funzionamento, i principali sistemi e i componenti degli impianti dell'IPM atti a garantire:

- la produzione del calcestruzzo e le operazioni di getto per la realizzazione dei moduli (corpo dei moduli e coperchi)
- la produzione di vapore saturo a bassa pressione per l'esecuzione del processo di "maturazione a vapore" dei moduli

In questo contesto la produzione del calcestruzzo è affidata a due impianti di betonaggio, aventi medesime caratteristiche e dimensioni, atti a confezionare impasti secondo ricetta qualificata, ognuno a servizio di due delle quattro navate dell'IPM.

Al completamento delle operazioni di impasto, l'impianto di betonaggio scarica il calcestruzzo pronto al getto all'interno di tramogge di trasporto e trasportate all'interno dell'edificio principale dell'IPM mediante *fork lift*. Nel fabbricato centrale dell'IPM il calcestruzzo viene scaricato dalle tramogge alle pompe di betonaggio e gettato nei casseri per la realizzazione del corpo dei moduli e dei coperchi.

La centrale di produzione del vapore, impiegato per il processo di maturazione accelerata dei getti di calcestruzzo, è costituita da due impianti uguali, ognuno a servizio della metà delle linee di produzione. Ogni impianto è in grado di fornire vapore in quantità tali da garantire lo sviluppo delle caratteristiche di resistenza meccanica dei getti in breve tempo.

L'impiego della tecnica di "maturazione a vapore" dei getti di calcestruzzo si rende necessaria per rispettare la produttività fissata per l'impianto, necessità dettata dal piano di conferimento e dal bisogno di poter movimentare i componenti prodotti in tempi relativamente brevi.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



### **3 DESCRIZIONE GENERALE STAZIONE DI BETONAGGIO**

La stazione di betonaggio a servizio dell'Impianto di Produzione Moduli è costituita da due impianti di produzione del calcestruzzo uguali come capacità produttiva e configurazione impiantistica. Il dimensionamento del singolo impianto di betonaggio è dato dalla quantità di calcestruzzo per il getto di un modulo, costituito dal corpo del modulo e del relativo coperchio (condizione dimensionante, singolo batch).

Con riferimento al singolo impianto, ciò si traduce nella produzione di calcestruzzo per effettuare il getto del corpo di 4 moduli e 4 coperchi, in modo da rispettare la produttività fissata di 8 moduli/giorno.

La stazione consente:

- lo stoccaggio dei componenti fini, degli aggregati e degli additivi necessari alla preparazione del calcestruzzo all'interno di appositi silos, tramogge e serbatoi
- il dosaggio ed il trasferimento all'interno del mescolatore dei componenti del calcestruzzo in quantità prefissate
- il trasferimento del calcestruzzo all'interno di benne di trasporto

Le condizioni essenziali di funzionalità che devono quindi garantire i due impianti sono:

- l'omogeneità dell'impasto di calcestruzzo secondo ricetta specifica impostata sul sistema di controllo della stazione di produzione
- la produzione delle quantità di calcestruzzo necessarie alla produzione di 8 moduli (8 corpi e 8 coperchi) al giorno, secondo le tempistiche imposte dal processo

#### **3.1 DESCRIZIONE MODULO (CORPO MODULO E COPERCHIO)**

Il modulo da produrre nell'IPM è una struttura prismatica monolitica in calcestruzzo armato costituito dal "corpo del modulo", al cui interno vengono collocati i manufatti e immobilizzati mediante cementazione, e il "coperchio del modulo" [Rif. 4].

Il modulo rappresenta la minima unità movimentabile e potenzialmente recuperabile nel Deposito Nazionale.

Il corpo del modulo è dimensionato in modo tale da poter ospitare al suo interno contenitori di rifiuti radioattivi standard e non, garantendo uno strato minimo di grout, intorno ad essi, di 50 mm. A tal fine si prevedono per il corpo del modulo i seguenti ingombri interni:

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



larghezza: 1.790 mm

profondità: 2.750 mm

altezza: 1.370 mm

Lo spessore delle pareti del corpo del modulo è attualmente fissata a 150 mm. Le dimensioni esterne risultano quindi essere:

larghezza: 2.090 mm

profondità: 3.050 mm

altezza: 1.700 mm

Per il getto del corpo di un modulo serve una quantità di calcestruzzo di 3,50 m<sup>3</sup> [Rif. 13].

Le dimensioni del coperchio del modulo sono:

larghezza: 1.750 mm

profondità: 2.710 mm

altezza: 130 mm

Per il coperchio si assume un volume pari a 0,62 m<sup>3</sup> [Rif. 18].

In conclusione la quantità di calcestruzzo necessaria per la produzione del singolo batch, cioè il getto del materiale necessario per il corpo di un modulo e del relativo coperchio risulta essere di 4,12 m<sup>3</sup>.

### 3.2 COMPOSIZIONE CALCESTRUZZO

Di seguito viene fornita la composizione del calcestruzzo preso come riferimento per il dimensionamento degli impianti di betonaggio.

La composizione del calcestruzzo allo stato fresco, per la produzione di 1 m<sup>3</sup> di impasto, è così definita (componenti espressi in kg/m<sup>3</sup> prodotto):

- cemento	345 kg/m <sup>3</sup>
- cenere volante	100 kg/m <sup>3</sup>
- fumo di silice	30 kg/m <sup>3</sup>
- ghiaio (Ø 4 - 16 mm)	745 kg/m <sup>3</sup>
- sabbia (Ø 0 - 4 mm)	980 kg/m <sup>3</sup>

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



- |   |                       |
|---|-----------------------|
| - additivo super fluidificante acrilico | 6 kg/m <sup>3</sup>   |
| - additivo viscosizzante                | 12 kg/m <sup>3</sup>  |
| - acqua                                 | 144 kg/m <sup>3</sup> |

Si possono ricavare le percentuali dei singoli componenti in peso per la produzione di un singolo m<sup>3</sup> di malta cementizia:

- |   |       |
|---|-------|
| - cemento                               | 14,6% |
| - cenere volante                        | 4,2%  |
| - fumo di silice                        | 1,3%  |
| - ghiaio (Ø 4 - 16 mm)                  | 31,5% |
| - sabbia (Ø 0 - 4 mm)                   | 41,5% |
| - additivo super fluidificante acrilico | 0,3%  |
| - additivo viscosizzante                | 0,5%  |
| - acqua                                 | 6,1%  |

La massa volumica allo stato fresco del calcestruzzo, in base alla ricetta di riferimento descritta, risulta essere pari a circa 2.362 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3 COMPONENTI IMPIANTO DI BETONAGGIO

A fronte del vincolo di produzione fissato in 8 moduli/giorno, il sistema di betonaggio è costituito da due impianti, con le stesse caratteristiche produttive e medesima componentistica, forniti di due mescolatori planetari e un mescolatore di polvere ciascuno. Tale scelta consente di garantire la continuità del servizio anche in caso di un eventuale fermo di una delle due impastatrici, e allo stesso tempo ottimizzare i tempi produttivi.

Il singolo impianto di betonaggio è quindi composto da:

- una intelaiatura di sostegno a traliccio in acciaio a tre livelli dotati ognuno di passerella d'ispezione
- un silo per il cemento completo di coclea innalzatrice di trasferimento del materiale alla relativa tramoggia dosatrice
- un silo per la cenere volante completo di coclea innalzatrice di trasferimento del materiale alla relativa tramoggia dosatrice

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



- un silo per il fumo di silice completo di coclea innalzatrice di trasferimento del materiale alla relativa tramoggia dosatrice
- tre tramogge pesatrici di dosaggio per la calibrazione delle quantità di cemento, cenere volante e fumo di silice dotate di dosatore a coclea per il trasferimento della quantità di materiale necessaria alla produzione dell'impasto di calcestruzzo
- un serbatoio di stoccaggio per l'additivo super-fluidificante liquido e relativa pompa
- un serbatoio di stoccaggio per l'additivo viscosizzante liquido e relativa pompa;
- un serbatoio di dosaggio con sensore di livello per l'additivo super-fluidificante liquido e relativa pompa dosimetrica
- un serbatoio di dosaggio con sensore di livello per l'additivo viscosizzante liquido e relativa pompa dosimetrica
- un serbatoio, con totalizzatore ad ingresso dell'impianto dell'acqua della rete idrica di sito, sensore di livello per il dosaggio a sottrazione dell'acqua per confezionare l'impasto e relativa pompa dosimetrica
- un miscelatore di polveri che riceve il mix asciutto
- due gruppi di accumulo e dosaggio degli aggregati (ghiaio e sabbia) dotati di nastro estrattore pesatore con misuratore di portata
- due mescolatrici planetarie

### 3.4 SISTEMI DI CONTROLLO E COMANDO IMPIANTO BETONAGGIO

Ogni componente della stazione di betonaggio è gestito in modo totalmente automatico ed autonomo tramite un apposito sistema di supervisione e controllo. Per i requisiti base relativi alla configurazione Hardware e Software e per le normative del sistema di controllo si rimanda ai documenti [Rif. 12] e [Rif. 17]. Il sistema di controllo è composto essenzialmente da sensori installati in campo, unità di elaborazione accentrate in una sala tecnica e dislocate nelle stazioni operatore dedicate al controllo dell'impianto stesso. Il sistema si interfaccia con il sistema di controllo principale dell'unità IPM tramite una connessione di tipo ridondante (hot-backup) e può essere di tipo seriale standard (RS-485, Modbus, etc), oppure attraverso comunicazioni client/server OPC. I quadri elettrici di comando e potenza sono montati localmente e vengono alimentati dal quadro generale IPM presente nel locale quadri.

L'automazione sarà dotata di tutti i sistemi necessari alla calibrazione, taratura ed autodiagnostica dell'impianto, all'archiviazione delle produzioni effettuate, alla



<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



compensazione dell'umidità per un dosaggio corretto dei componenti, ecc. Al sistema di automazione e controllo è affidata quindi la gestione e la verifica delle operazioni necessarie alla produzione del calcestruzzo secondo ricetta qualificata, impostata direttamente dall'operatore. Ciò è reso possibile dall'interfaccia del sistema con sensori installati in campo.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica</b> <b>impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE</b> <b>01</b>



#### **4 DESCRIZIONE FUNZIONALE STAZIONE DI BETONAGGIO**

Per garantire una maggiore flessibilità nella gestione della produzione dei moduli, a fronte della produttività giornaliera fissata in 8 al giorno, il sistema di betonaggio è costituito da due impianti con le stesse caratteristiche e capacità produttive. Tale scelta consente di ottimizzare i tempi produzione e garantire la continuità del servizio anche in caso di un eventuale fermo impianto.

Si riportano nei paragrafi successivi la descrizione della quantità dei materiali necessari a produrre il calcestruzzo, il processo produttivo le relative tempistiche, il dimensionamento delle componenti d'impianto e le operazioni di getto, tutto riferito per un singola stazione di produzione del calcestruzzo a servizio di due delle quattro navate dell'IPM.

##### **4.1 QUANTITÀ MATERIALI E CAPACITÀ DI STOCCAGGIO IMPIANTO**

Per effettuare il dimensionamento dei componenti della stazione di produzione del calcestruzzo se ne definisce la quantità da produrre giornalmente per realizzare quattro moduli (4 corpi e 4 coperchi) durante il turno lavorativo di 8 ore dedicato al confezionamento e getto del calcestruzzo.

Sulla base di questi dati di input si è effettuata una valutazione del carico di lavoro giornaliero di un impianto di betonaggio. Poiché ogni corpo del modulo necessita, per il suo getto, di una quantità di calcestruzzo pari a 3,50 m<sup>3</sup> [Rif. 13], e di 0,62 m<sup>3</sup> per il getto del singolo coperchio [Rif. 18], si devono impastare 4,12 m<sup>3</sup> di calcestruzzo. Considerando che nella singola giornata lavorativa si fabbricano 4 moduli (4 corpi e 4 coperchi), il singolo impianto di betonaggio è dimensionato per produrre giornalmente una quantità di calcestruzzo di circa 16,50 m<sup>3</sup>, pari in peso a circa 38.980 kg.

A fronte della composizione del calcestruzzo, fornita nei paragrafi precedenti, risulta che le quantità in peso dei singoli componenti per far fronte alla necessità produttiva giornaliera sono:

- cemento	5.691,08 kg
- cenere volante	1.637,16 kg
- fumo di silice	506,74 kg
- ghiaio (Ø 4 - 16 mm)	12.278,70 kg
- sabbia (Ø 0 - 4 mm)	16.176,70 kg

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



- additivo super fluidificante acrilico 116,94 kg
- additivo viscosizzante 194,90 kg
- acqua 2.377,78 kg

Volendo garantire al singolo impianto di betonaggio un'autonomia di 10 giorni (intervallo di tempo tra due successive operazioni di caricamento dei silos), le quantità dei componenti, in eccesso, sono:

- cemento 56.615 kg
- cenere volante 16.375 kg
- fumo di silice 5.070 kg
- ghiaio (Ø 4 - 16 mm) 122.790 kg
- sabbia (Ø 0 - 4 mm) 161.770 kg
- additivo super fluidificante acrilico (liquido) 1.170 kg
- additivo viscosizzante 1950 kg

I silos, i gruppi di stoccaggio e i serbatoi a servizio di ogni impianto dovranno quindi essere in grado di stoccare, in base alle masse volumiche dei componenti, quantità non inferiori ai valori sopra riportati.

Si riportano qui in seguito le volumetrie dei sistemi di stoccaggio atte a garantire l'autonomia d'impianto fissata a 10 giorni:

- cemento 27,00 m<sup>3</sup>
- cenere volante 12,00 m<sup>3</sup>
- fumo di silice 5,00 m<sup>3</sup>
- ghiaio (Ø 4 - 16 mm) 65,00 m<sup>3</sup>
- sabbia (Ø 0 - 4 mm) 85,00 m<sup>3</sup>
- additivo super fluidificante acrilico 1,50 m<sup>3</sup>
- additivo viscosizzante 2,00 m<sup>3</sup>

Il volume di stoccaggio per i componenti solidi tiene conto della "massa volumica apparente" dei materiali: durante lo scarico e stoccaggio si creano dei vuoti fra i granuli del materiale occupando così un volume maggiore rispetto alla configurazione di massimo addensamento (massa volumica).

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



Ad eccezione di tutti gli altri componenti, l'acqua d'impasto viene convogliata in un serbatoio di accumulo e dosaggio, caricato giornalmente tramite integrazione dalla rete di sito, con capacità tale da far fronte alla singola giornata produttiva.

#### 4.2 DESCRIZIONE E DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE STAZIONE DI BETONAGGIO

I macchinari, che nel loro insieme costituiscono il singolo impianto di betonaggio, insistono in parte su una struttura portante costituita da un'intelaiatura a traliccio in acciaio. La struttura portante è a tre livelli, dotati di passerella d'ispezione, ed accessibile a quota campagna dalla tramoggia di trasporto del calcestruzzo. Sui vari livelli si trovano rispettivamente:

- quota campagna: serbatoi d'accumulo per acqua, additivo super-fluidificante, additivo viscosizzante e la zona di accesso delle benne di trasporto
- primo livello: due mescolatrici planetarie da 2,5 m<sup>3</sup> ciascuna
- secondo livello: mescolatore di polveri da 5,5 m<sup>3</sup>, serbatoi di dosaggio per gli additivi chimici
- terzo livello: tre tramogge di dosaggio, da 1 m<sup>3</sup> ciascuna, per cemento, cenere volante e fumo di silice

I gruppi di accumulo e dosaggio degli aggregati sono invece installati sotto il livello del piano di campagna e collegati con il resto della stazione tramite nastri trasportatori ed elevatori a tazze.

I silos contenenti i componenti fini sono connessi alle tramogge di dosaggio mediante coclee.

L'assieme dell'impianto è visibile nel documento di cui al [Rif. 9].

Vengono riportate di seguito le descrizioni e il dimensionamento preliminare dei macchinari in base alla ricetta del calcestruzzo e le quantità richiesta da produrre quotidianamente.

##### 4.2.1 Gruppo di accumulo e dosaggio polveri

Data l'alta volatilità dei componenti in polvere calcestruzzo, cemento, fumo di silice e cenere volante, questi vengono stoccati in silos dedicati, ognuno avente rispettivamente le capacità di 27 m<sup>3</sup> per il cemento, 5 m<sup>3</sup> per il fumo di silice e 12 m<sup>3</sup> per la cenere volante.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



Ogni silo scarica il proprio contenuto mediante coclee estrattrici, alla rispettiva tramoggia pesatrice con volume utile di circa 1 m<sup>3</sup>, con le seguenti caratteristiche:

- coclea cemento: portata di 20.000 kg/h e diametro 168 mm
- coclea fumo di silice: portata 5.000 kg/h e diametro 114 mm
- coclea cenere volante: portata 5.000 kg/h e diametro 114 mm

Le tre tramogge, situate sul terzo livello della struttura di sostegno, sono dotate di celle di carico e vibratore elettrico per favorire la discesa del materiale all'interno del mescolatore polveri mediante dosatore a coclea.

Tutti i silos e le tramogge di dosaggio sono dotati di filtro depolveratore e di flessibili che garantiscano misure di peso più affidabili.

#### 4.2.2 Gruppi di accumulo e dosaggio aggregati

Gli aggregati vengono stoccati in due gruppi di accumulo e dosaggio (uno per ghiaino e l'altro per la sabbia) costituiti da un telaio monoblocco in acciaio munito di sponde incernierate e suddivisi in due scomparti indipendenti da 50 e 35 m<sup>3</sup>, in modo da minimizzare il tempo di carico degli inerti al miscelatore di polveri. I due gruppi vengono installati sotto il livello del terreno per ridurre l'ingombro dell'impianto e caricati, scomparto per scomparto, direttamente dal camion di approvvigionamento del materiale secondo la cadenza stabilita. Poiché è stato assunto come ipotesi di progetto un periodo di autonomia pari a 10 giorni, ogni gruppo ha una capacità totale di 85 m<sup>3</sup>.

Gli scomparti dei gruppi di stoccaggio sono dotati di vibrator per facilitare la discesa del materiale e di sonde in grado di rilevare, ad ogni dosaggio, l'umidità contenuta negli aggregati consentendo la calibrazione della giusta quantità d'acqua per l'impasto.

Il dosaggio degli aggregati viene effettuato in sequenza attraverso due nastri estrattori pesatori dalla portata di circa 20 m<sup>3</sup>/h e larghi 600 mm, uno per ogni gruppo. I componenti fondamentali utilizzati per la misura di portata su nastro sono un rilevatore di peso ad elevato grado di sensibilità ed accuratezza (bilancino pesatore equipaggiato con celle di carico) ed un rilevatore di velocità (encoder) calettato direttamente sul tamburo condotto. L'integrazione continua delle due misure viene utilizzato per la pesatura ed il dosaggio del materiale. Il sistema è completato da

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



doppia bocchetta di estrazione, azionata da cilindri elettropneumatici con gestione automatica dello spillamento.

I nastri pesatori scaricano il materiale su un unico nastro inclinato da 800 mm il quale alimenta, attraverso apposito raccordo, un elevatore a tazze connesso al miscelatore di polveri.

#### 4.2.3 Gruppo accumulo e dosaggio additivi chimici

Per quanto riguarda gli additivi chimici, super-fluidificante e viscosizzante, poiché si preventiva l'utilizzo in forma liquida, si prevede di realizzare due serbatoi di stoccaggio, posti a quota terreno, che alimentano, tramite pompe, i rispettivi serbatoi di dosaggio situati al secondo livello della struttura di sostegno.

I serbatoi di stoccaggio hanno capacità tale da garantire 10 giorni lavorativi di autonomia dell'impianto e vengono ricaricati tramite il pompaggio del prodotto da fusti o cisterne che arrivano all'impianto secondo le cadenze stabilite. I due serbatoi sono provvisti di agitatore interno e indicatore di minimo livello ed hanno le rispettive capacità:

- serbatoio di stoccaggio per l'additivo super fluidificante acrilico 1,50 m<sup>3</sup>
- serbatoio di stoccaggio per l'additivo viscosizzante 2,00 m<sup>3</sup>

L'immissione del quantitativo dei due additivi all'impasto è quindi affidato ai due serbatoi di dosaggio montati su celle di carico e dotati di misuratore di minimo livello e pompa dosimetrica a membrana con portata massima di 500 lt/h. i due serbatoio di dosaggio hanno volume di:

- serbatoio di dosaggio per l'additivo super fluidificante acrilico 0,15 m<sup>3</sup>
- serbatoio di dosaggio per l'additivo viscosizzante 0,20 m<sup>3</sup>

Il corretto dosaggio degli additivi chimici liquidi per la produzione del singolo batch di calcestruzzo viene quindi garantito da un doppio sistema di verifica (pompa dosimetrica e celle di carico) e gestito direttamente dal sistema di controllo che riceve i segnali dai sensori installati in campo.

#### 4.2.4 Impianto di adduzione acqua

L'acqua utilizzata per il confezionamento dell'impasto viene prelevata direttamente dalla rete idrica del sito; per cui non è necessario predisporre una vasca di accumulo finalizzata all'autosufficienza del sistema per almeno 10 giorni.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



La rete di sito alimenta direttamente un serbatoio di accumulo e dosaggio, installato a quota terreno con volume utile di circa 3 m<sup>3</sup> (corrispondenti a più di 4 batch) ed è provvisto di:

- totalizzatore all'ingresso per l'acqua prelevata dalla rete del sito
- indicatore di minimo livello che garantisce una presenza continua di acqua al suo interno regolando la compensazione
- pompa dosimetrica (peristaltica a pressione) caratterizzata da una portata variabile definita nel range di 1.845 – 9.225 lt/h per il dosaggio dell'acqua per la preparazione dell'impasto
- celle di carico che rilevano la diminuzione in peso all'interno del serbatoio di dosaggio a verifica della quantità d'acqua immessa nella mescolatrice planetaria

Il dosaggio dell'acqua per la produzione del singolo batch di calcestruzzo viene quindi garantito da un doppio sistema di verifica (pompa dosimetrica e celle di carico) e gestito direttamente dal sistema di controllo che riceve i segnali dai sensori installati in campo.

#### 4.2.5 Mescolatore polveri e mescolatori planetari

Il miscelatore di polveri, situato sul secondo livello della struttura di sostegno, è un contenitore in acciaio inox da circa 5.500 litri atto a contenere e mescolare il mix asciutto necessario alla produzione di un batch di calcestruzzo. Il mescolamento viene eseguito per un tempo stabilito mediante spirali di miscelazione, dopo di che parte del contenuto viene scaricato per gravità nel mescolatore planetario di riferimento mediante l'azionamento di una valvola deviatrice posta tra il miscelatore polveri e le mescolatrici planetarie.

I mescolatori utilizzati nell'impianto saranno di tipo planetario chiuso: questa tipologia di impastatrice risulta infatti particolarmente efficiente per la produzione di grandi quantità di materiale a batch. Per la scelta della taglia del singolo mescolatore planetario nel quale avverrà la miscelazione finale della malta di calcestruzzo si impone come parametro la resa effettiva della macchina.

Un giusto compromesso tra le dimensioni e le necessità produttive (la quantità di calcestruzzo necessaria per ogni fase di getto è di 4,12 m<sup>3</sup>) porta a scegliere due mescolatori planetari da 2,5 m<sup>3</sup> l'una. Entrambe le macchine devono essere

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



comunque in grado di garantire una produzione leggermente inferiore al dato di targa, per adattarsi alle esigenze del processo.

Tutti i componenti di trasferimento dei materiali necessari all'impasto cementizio (nastri, coclee, ecc.) dovranno consentire il riempimento del singolo mescolatore in modo tale da permettere la preparazione del singolo batch di calcestruzzo nei tempi previsti.

#### 4.3 PROCESSO PRODUTTIVO E GETTO CALCESTRUZZO

Vengono di seguito descritte in dettaglio il funzionamento della stazione di betonaggio e le procedure di getto del calcestruzzo all'interno dell'edificio IPM.

##### 4.3.1 Produzione calcestruzzo

Tutte le componenti solide secche, prima di essere scaricate ad una delle due mescolatrici planetarie, vengono introdotte nel mescolatore di polveri. Gli aggregati arrivano dai gruppi di accumulo e dosaggio scaricati ai nastri pesatori mediante le bocchette; effettuato il dosaggio, il materiale viene trasferito ad un unico nastro inclinato che a sua volta alimenta un elevatore a tazze raccordato con il mescolatore di polveri. I componenti fini (cemento, fumo di silice e cenere volante) arrivano dai silos di stoccaggio alle tramogge di calibrazione tramite coclee. Caricata la quantità di materiale atta al confezionamento dell'impasto, le tramogge trasferiscono il contenuto al mescolatore polveri tramite dosatore a coclee posizionata fra i due macchinari.

Il miscelatore di polveri consente di svincolare le fasi di caricamento e miscelazione dei componenti secchi dai mescolatori planetari, rendendo più rapida la produzione del calcestruzzo. Il caricamento del mix secco nel miscelatore polveri e l'omogeneizzazione dell'impasto fresco nel mescolatore planetario possono essere effettuate in sovrapposizione. Conclusa l'operazione di miscelazione a secco, tutto il mix asciutto viene scaricato per gravità in uno dei due mescolatori planetari tramite una valvola deviatrice installata subito a valle del miscelatore di polveri.

Una volta scaricato il mix secco all'interno del mescolatore planetario, il sistema di controllo dell'impianto di betonaggio gestisce l'immissione dei componenti liquidi: acqua e additivi. Gli additivi vengono pompati dai serbatoi di stoccaggio ai rispettivi gruppi di dosaggio, dopodiché inviati al mescolatore di riferimento attraverso una pompa dosatrice con membrana a scorrimento meccanico. L'acqua, richiesta in maggiore quantità, viene invece prelevata direttamente dalla rete di sito e raccolta in



<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



un serbatoio di dosaggio posto anch'esso in comunicazione con una pompa dosatrice che manda al mescolatore di riferimento la quantità richiesta.

Il dosaggio di ogni componente introdotto nei mescolatori planetari per la produzione del calcestruzzo, è sottoposto a doppio controllo per massimizzare la sicurezza nella bontà delle misure. Nello specifico il dosaggio dei componenti prevede:

- cemento, fumo di silice e cenere volante: coclee dosatrice e tramoggia pesatrice con celle di carico
- sabbia e ghiaino: bocchette pneumatiche e nastro pesatore con celle di carico ed encoder
- additivi liquidi ed acqua: pompa dosatrice e serbatoi con celle di carico

All'aggiunta dei liquidi, segue una fase di miscelazione dell'impasto nel mescolatore planetario al fine di ottenere il calcestruzzo fresco pronto. Ultimata la preparazione dell'impasto, il calcestruzzo viene scaricato per gravità, tramite l'apertura di una portella idraulica posta sul fondo del mescolatore, dentro la benna di trasporto e getto del calcestruzzo dal volume di 2,5 m<sup>3</sup>. Se non scaricato nella benna, il calcestruzzo viene mantenuto in agitazione (per evitarne l'indurimento) all'interno del mescolatore in attesa di essere scaricato con la finalità di rispettare i tempi e le richieste produttive imposte dal processo.

Al termine della giornata lavorativa l'operatore addetto provvede al lavaggio dei mescolatori planetari. Il sistema di lavaggio è composto da due tubi dotati di un numero di ugelli pari al numero di bracci di mescolazione che ruotano azionati da un gruppo motoriduttore per consentire di raggiungere tutti i punti di accumulo del calcestruzzo. L'acqua di lavaggio viene prelevata dalla rete idrica di sito ad integrazione dell'acqua riciclata dai precedenti lavaggi e rilanciata nei due mescolatori planetari mediante una pompa di pressurizzazione.

Lo schema funzionale dell'impianto è visibile nel documento di cui al [Rif. 16].

#### 4.3.2 Getto calcestruzzo

Una volta pronto, il sistema di betonaggio scarica il calcestruzzo all'interno della benna di trasporto la quale viene trasferita all'interno del complesso IPM mediante fork lift. Arrivata nel fabbricato principale dell'IPM la benna viene posizionata sopra la bocca di adduzione della pompa di getto a servizio della navata. Ogni navata è servita da una singola pompa impiegata per il getto del calcestruzzo per la realizzazione del corpo di

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica</b> <b>impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE</b> <b>01</b>



due moduli e i rispettivi coperchi. Per far fronte alle necessità produttive, la pompa per il getto ha una portata di 9000 lt/h.

Il getto viene eseguito dagli operatori movimentando manualmente il tubo flessibile di adduzione del calcestruzzo, agganciato alla gru a bandiera a servizio della navata, fra i pezzi da realizzare. La sequenza di getto ipotizzata prevede di partire dalla realizzazione del corpo del primo modulo, passando poi al coperchio associato (quello posto in asse rispetto alla linea di produzione, (vedere [Figura 2](#) sottoindicata). Gettato il primo coperchio si prosegue realizzando il secondo coperchio per poi terminare le operazioni con il corpo del secondo modulo, cercando di garantire così la continuità dell'operazione evitando riprese di getto [Rif. 11]

Si prevede la possibilità di vibrare i getti mediante l'utilizzo di vibratori elettrici portatili (tipo coda di tipo) o l'impiego di quelli pneumatici montati sui casseri (vibratori a parete).

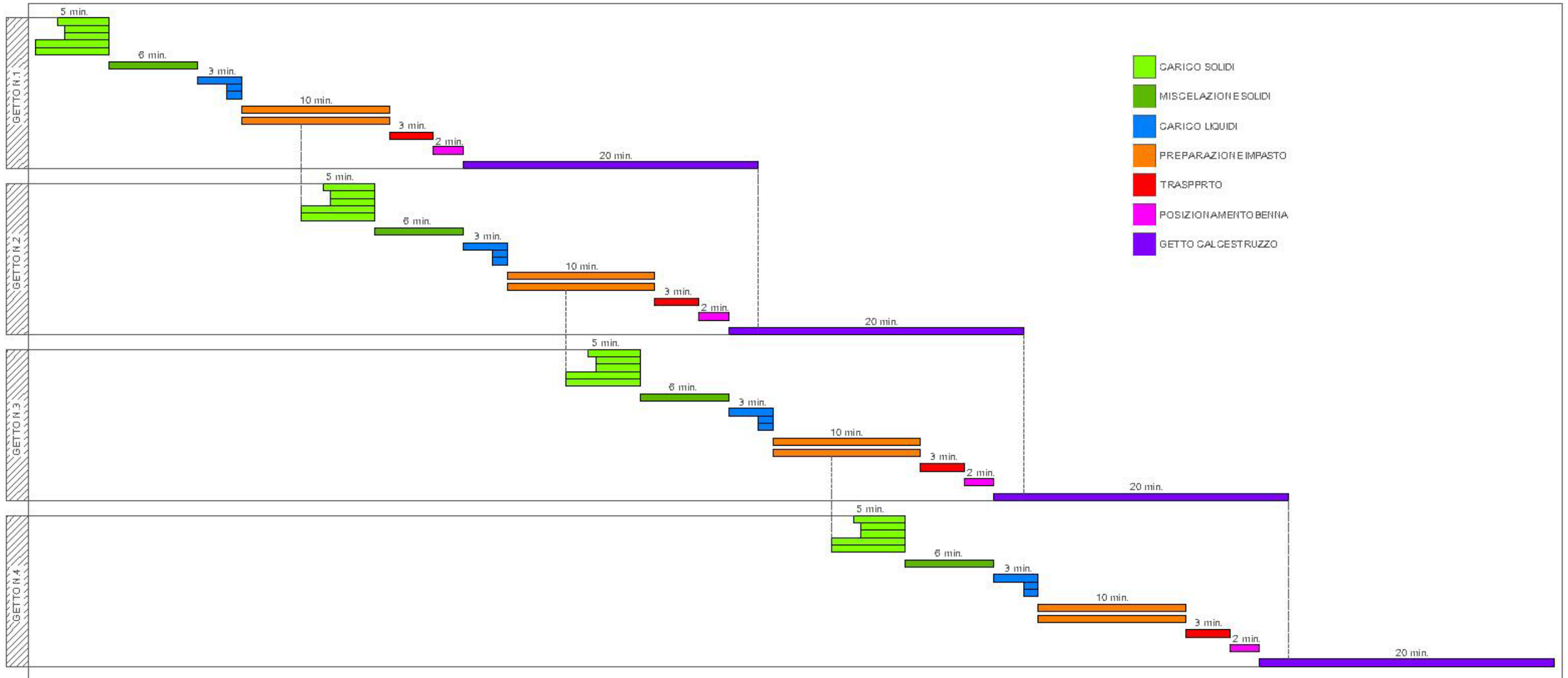
Al termine della giornata lavorativa, la pompa per il getto del calcestruzzo viene caricata dal *fork lift* e trasportata nell'area di lavaggio per effettuare la pulizia del macchinario.

#### 4.4 DEFINIZIONE DEI TEMPI DI PRODUZIONE E GETTO DEL CALCESTRUZZO

Per la definizione dei tempi legati al processo di produzione del calcestruzzo e getto nei casseri, si è assunta come primo riferimento la operazioni di seguito riportata:

- produzione del calcestruzzo e scarico nella benna di trasporto
- trasporto benna dal betonaggio al getto
- getto del calcestruzzo contenuto nella benna

Vengono in seguito esposte le tempistiche associate alle macro-fasi sopra elencate.



**Figura 1 – Tempistica fasi preparazione calcestruzzo.**

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



#### 4.4.1 Tempistiche produzione calcestruzzo

Per la definizione dei tempi legati al processo di produzione del calcestruzzo si è assunta come primo riferimento la sequenza di fasi di seguito riportata:

- caricamento dei componenti secchi nel miscelatore polveri: il tempo per il trasferimento del cemento del silo al mescolatore di polveri è assunto pari a 3 minuti, per il trasferimento della cenere volante e del fumo di silice è assunto pari a 3 minuti e mezzo, in parallelo avviene il caricamento degli aggregati dai gruppi di accumulo in un tempo che richiede 5 minuti, inglobando quindi le fasi di caricamento dei componenti in polvere. Il tempo stimato per il caricamento del mescolatore polveri è quindi di 5 minuti
- miscelazione delle parti solide (cemento, cenere volante, fumo di silice, ghiaino, sabbia) nel miscelatore di polveri: per mescolare il mix secco il macchinario impiega 6 minuti
- scarico mix secco nel mescolatore planetario e aggiunta dei componenti liquidi: le due operazioni, scarico del composto per la produzione di 2,5 m<sup>3</sup> di calcestruzzo e aggiunta dell'acqua del super-fluidificante e viscosizzante, avvengono in 3 minuti
- omogeneizzazione impasto nel mescolatore planetario e scarico: una volta caricati tutti gli ingredienti, l'impastatrice, per ottenere l'impasto omogeneo pronto al getto e lo scarico nella benna, impiega 10 minuti

L'insieme delle operazioni descritte per la produzione di 2,5 m<sup>3</sup> di calcestruzzo (quantità prodotta dalla singola mescolatrice planetaria e volume della benne di trasporto) si svolge dunque in un arco temporale pari a circa 24 minuti.

Grazie all'adozione del mescolatore polveri posto a monte delle due impastatrici planetarie, si possono ottimizzare i tempi di produzione della stazione della stazione di betonaggio: a fronte della quantità di calcestruzzo richiesta per il getto di un singolo batch (corpo modulo e coperchio 4,12 m<sup>3</sup>), le operazioni del caricamento e mescolamento del mix asciutto sono svincolate dalla produzione dell'impasto fresco pronto al getto che viene prodotto dalle due mescolatrici planetarie che possono lavorare in parallelo o in tempi sfalsati garantendo la produzione di circa 5 m<sup>3</sup> di calcestruzzo a copertura delle esigenze di getto evitando riprese di colata. Allo stesso tempo la soluzione adottata minimizza il rischio di stop dell'impianto con conseguente blocco dell'intero processo.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



#### 4.4.2 Tempistiche getto calcestruzzo

Terminata la produzione dell'impasto e scarico del calcestruzzo nella benna di trasporto, il conglomerato viene trasferito alla postazione di getto mediante *fork lift*. Per la definizione dei tempi legati al processo di getto del calcestruzzo si è assunta come primo riferimento la sequenza di operazioni di seguito riportata:

- trasporto della benna: si stima che, per arrivare alla postazione di getto, il *fork lift* che trasporta la benna impiega circa 3 minuti
- posizionamento della benna sulla pompa di getto: le operazioni di posizionamento della benna per interfacciarla alla pompa di getto sono sempre eseguite con lo stesso *fork lift* a cui è addebitato il trasporto. Si stima che tale operazione duri circa 2 minuti
- getto del calcestruzzo: a fronte dell'impiego di una pompa di getto avente portata di 9000 lt/h, e considerando i tempi necessari allo spostamento del tubo di getto compreso l'azione dell'eventuale vibrazione, per pompare l'impasto contenuto in una benna si impiegano circa 20 minuti

Per il compimento delle fasi lavorative descritte, si impiegano dunque circa 25 minuti. Il getto dei due moduli e coperchi serviti dalla singola pompa di getto si esplica in circa 1 ora e 40 minuti.

L'intero processo, produzione e getto per ogni singola navata dell'IPM, si stima in maniera conservativa venga completato in circa 2 ore e 30 minuti.

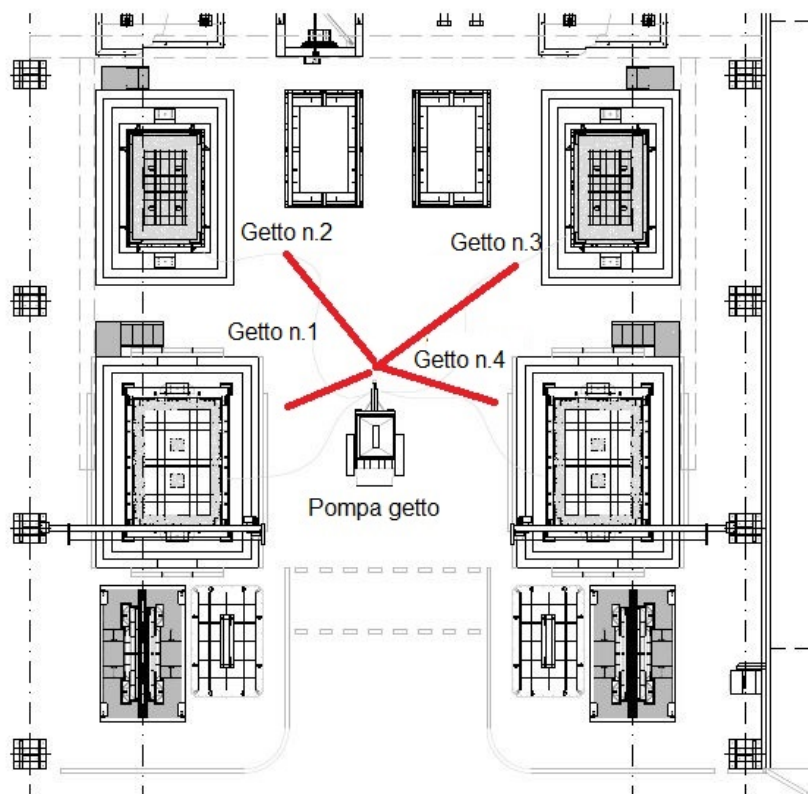


Figura 2 – Sequenza di getto

#### 4.5 IMPIANTO DI LAVAGGIO E GESTIONE DELLE ACQUE (BETONAGGIO)

Per conoscere l'entità dei rifiuti secondari (residuo fangoso ed acqua) legati all'attività giornaliera di lavaggio dei mescolatori planetari, delle benne di trasporto e delle pompe per il getto (che sono gli unici elementi che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco), si è effettuato uno studio di primo indirizzo per dimensionare l'impianto di lavaggio a servizio dell'IPM [Rif. 5]; [Rif. 14].

Preso a riferimento una mescolatore planetario con una resa vibrata effettiva pari a 2,5 m<sup>3</sup>, questo ha le seguenti dimensioni:

- diametro interno: 3 m
- altezza utile: 0,6 m

dove con altezza utile si intende la quota parte del mescolatore effettivamente "bagnata" dal calcestruzzo fresco in agitazione.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



Si ricava che la superficie del singolo mescolatore, sporcata dal calcestruzzo, risulta pari a circa 13 m<sup>2</sup>. Ipotizzando di avere a fine lavorazione un deposito di impasto residuo sulla superficie pari a 5 mm, la quantità giornaliera globale di calcestruzzo da rimuovere dai 4 mescolatori planetari è pari a circa 260 litri.

Per la singola tramoggia (o benna) di carico e trasporto del calcestruzzo da 2,5 m<sup>3</sup> si fanno le seguenti assunzioni di progetto:

- area interna: 9,3 m<sup>2</sup>
- coefficiente di riempimento: 100 %

Anche in questo caso di ipotizza a fine lavorazione un deposito di impasto di spessore pari a 5 mm, si hanno quindi 47 litri di residuo. Inoltre, ogni benna scarica una quantità di calcestruzzo non utilizzato nella fase di getto, che si ipotizza essere pari a circa 100 kg, corrispondenti ad un volume di 40 litri circa. Poiché le benne di trasporto del calcestruzzo sono quattro per la singola stazione di betonaggio, si ha una quantità totale giornaliera di materiale da rimuovere pari a circa 740 litri.

Con riferimento alla singola pompa di getto, con vano di scarico del calcestruzzo di 0,50 m<sup>3</sup>, si ha una superficie sporca del macchinario di circa 3,2 m<sup>2</sup>. Assumendo un deposito d'impasto nel macchinario spesso 5 mm si ha un residuo d'impasto di circa 16 litri. A fronte dell'impiego di quattro pompe di getto si ha, a fine giornata, un rifiuto complessivo di circa 70 litri.

I mescolatori planetari, unici componenti dell'impianto di betonaggio a venire a contatto con il calcestruzzo fresco, sono dotati di un sistema ad ugelli spruzzatori direttamente alimentato dalla rete dell'acqua di sito ad integrazione dell'acqua riciclata dai precedenti lavaggi. Alla fine del loro ciclo di lavoro, sotto di essi, vengono posizionate le benne di trasporto del calcestruzzo vuote mediante fork lift; a questo punto l'operatore addetto aziona gli ugelli di lavaggio e l'acqua con i residui fangosi viene scaricata all'interno delle benne. Una volta concluso il lavaggio dei mescolatori planetari, le benne piene vengono trasferite all'area di lavaggio prossima agli impianti di betonaggio. Quest'area è costituita principalmente da una vasca di scarico e lavaggio e da un dispositivo a braccio mobile dotato di spruzzatori rotanti. Una volta entrata, la benna scarica il contenuto di acqua e calcestruzzo residuo nella vasca, dopo di che viene lavata con un getto ad alta pressione mediante gli ugelli rotanti calati al suo interno, allo stesso modo si lavano le pompe per il getto.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



La vasca di scarico lavaggi, dove vengono raccolti i residui di calcestruzzo e le acque di lavaggio, è dotata di due coclee, una di trasferimento e una separatrice per dividere l'acqua dal residuo solido.

L'acqua surnatante viene pompata in una vasca di accumulo, dove sono convogliate anche le acque di risulta derivanti dai processi di getto e maturazione, e reimpiegate per gli altri lavaggi. Il residuo solido dei lavaggi viene scaricato nell'area recupero inerti e successivamente smaltito.

Si stima nel complesso che l'acqua impiegata per i lavaggi è circa 200 litri [Rif. 5]; [Rif. 14].



<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



## **5 STAGIONATURA ACCELERATA E PRODUZIONE DEL VAPORE**

Terminato il getto, il calcestruzzo comincia ad indurire sviluppando lentamente nel tempo la sua resistenza; di conseguenza, affinché il corpo del modulo e il coperchio possano essere scasserati e movimentati senza subire danni mediante carroponete nell'area di stoccaggio e maturazione, rispettando il ritmo produttivo di 8 moduli/giorno, si è scelto di adottare un procedimento di maturazione del calcestruzzo denominato "stagionatura accelerata" mediante la "maturazione a vapore". Con questo termine ci si riferisce ad un trattamento termico a cui viene sottoposto il conglomerato cementizio all'interno di un ambiente confinato dedicato, che consiste nel riscaldare artificialmente tramite vapore il calcestruzzo fresco al fine di accelerare l'idratazione del cemento. L'aumento controllato della temperatura velocizza le reazioni chimico-fisiche nel calcestruzzo consentendo di ottenere in tempi brevi le resistenze meccaniche desiderate.

In sintesi il trattamento in oggetto si rende necessario per raggiungere in tempi sufficientemente brevi la resistenza meccanica del modulo al fine di poterlo movimentare in sicurezza senza danneggiarlo, e garantire la produttività giornaliera fissata in 8 moduli/giorno.

### **5.1 IMPIANTO E COMPONENTISTICA**

Nei paragrafi che seguono si descrivono le componenti d'impianto di produzione del vapore per il trattamento termico del calcestruzzo e le apparecchiature di confinamento del volume saturato dal vapore.

#### **5.1.1 Campane a vapore**

Per confinare il volume in cui eseguire la maturazione a vapore, si sono studiate due strutture mobili denominate "campane a vapore", una per il singolo corpo del modulo ed una per il singolo coperchio.

La struttura di una singola campana, assimilabile ad una cappa mobile leggera, è formata da un telaio in tubolari a sezione quadrata da 80 x 80 mm la cui funzione è limitata al sorreggere pannelli che confinano il volume per la stagionatura del getto. I pannelli isolanti, dello spessore di 40 mm, sono strutture metalliche molto leggere coibentati in poliuretano. Sono dotati di apposite sedi per il fissaggio con viti al telaio di sostegno in numero e posizione tali da garantire la resistenza alle sollecitazioni a cui la campana a vapore è sottoposta. Le pareti della campana sono ottenute

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



assemblando i pannelli in modo consequenziale senza richiesta di un particolare grado di tenuta nell'incastro tra i pannelli. L'isolamento termico dei pannelli è definito in circa  $0,64 \text{ kW/m}^2\text{K}$  [Rif. 19], permette di limitare le perdite di calore verso l'esterno rallentando il processo di condensazione del vapore all'interno della campana a vapore. Infine, ogni campana è dotata di tutti gli strumenti necessari al controllo della temperatura e dell'umidità, quali termostati e manometri.

Le dimensioni delle campane a vapore sono fissate rispettivamente in:

- campana per corpo modulo: 5.800 (L) x 3.780 (l) x 2.200 (h) mm
- campana per coperchio: 4.240 (L) x 3.000 (l) x 1000 (h) mm

Le campane a vapore appena descritte vengono movimentate attraverso il carroponete a servizio della navata di riferimento. Esse rimangono nelle loro posizioni di rimessaggio all'interno dell'IPM fino all'inizio della fase di maturazione accelerata. Dopo la fase di getto, ogni campana viene agganciata mediante apposita pinza dal carroponete e calata sul modulo, o sul coperchio, per l'inizio del ciclo di stagionatura. A tal fine le campane dispongono superiormente di appositi punti di presa ad aggancio rapido per la pinza [Rif. 7].

### 5.1.2 Impianto produzione del vapore

Il vapore necessario al processo di stagionatura accelerata del corpo dei moduli e dei coperchi prodotti nell'IPM, è fornito da due impianti collocati all'esterno in posizioni adiacenti l'edificio dell'IPM. Ogni impianto di generazione del vapore è asservito alla stagionatura di quattro gruppi modulo-coperchio (due navate). In ognuno di essi, la produzione del vapore, fluido termovettore dell'impianto, viene assicurata da due caldaie a bassa pressione che alimentano i circuiti di distribuzione.

Ogni gruppo di generazione del vapore viene installato esternamente all'IPM sotto una tettoia di protezione e comprende i seguenti elementi:

- il generatore di vapore
- l'addolcitore
- la vasca del sale
- la vasca di raccolta dell'acqua depurata
- la cisterna del combustibile di alimentazione (interrata esternamente)

Per ogni navata (corrispondente a due coppie corpo modulo/coperchio) [Rif. 15] è stato scelto un generatore con pressione di bollo pari a 1 atm e capacità produttiva

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



pari a 400 kg/h. Ogni generatore è servito da un gruppo di trattamento dell'acqua che comprende un depuratore a resine cationiche per l'abbattimento del calcare, una vasca contenente la salamoia (sale) per la rigenerazione delle resine del depuratore stesso ed una vasca di raccolta e accumulo dell'acqua depurata.

L'acqua viene prelevata dalla rete di sito e depurata dall'addolcitore che la scarica in un serbatoio di raccolta: da qui viene prelevata dalla caldaia per la produzione del vapore. Questo gruppo produce infatti acqua di alimentazione per la caldaia priva di elementi che causano incrostazioni di calcare.

Gli ingombri del gruppo di generazione del vapore sono definiti, oltre che dalle dimensioni della caldaia con relativo bruciatore e camino di scarico fumi, dalla presenza del gruppo di trattamento dell'acqua. Il combustibile di alimentazione delle caldaie è stoccato in un'unica cisterna interrata di capienza tale da minimizzarne la periodicità di ricarica.

Da ogni caldaia della singola stazione di generazione del vapore si diramano le linee che portano il vapore ai due gruppi "corpo modulo" – "coperchio" delle due navate più vicine. Ogni linea attraversa l'edificio sotto il livello del pavimento e termina in un toro rialzato che circonda il corpo del modulo (o coperchio) iniettando vapore in più punti all'interno della campana di riferimento ([Rif. 6] e [Rif. 8]). Questa disposizione delle condutture del vapore permette di avere una pressione ed una temperatura uniforme all'interno della singola campana. Per contenere le perdite di carico entro valori accettabili, si adottano per il vapore saturo secco velocità massime ammissibili tra i 10 m/s fino ai 35-40 m/s a seconda della sezione delle tubazioni. Fissando per la velocità a monte un valore di 20 m/s, a fronte di una pressione di 10 bar manometrici e di una portata massica di vapore pari a 200 kg/h, si ricava un diametro teorico del tubo pari a 25 mm (tubo DN 20) indipendentemente dalla sua lunghezza equivalente.

La distribuzione a più linee descritta sopra [Rif. 15], consente di raggiungere lo stesso livello di pressione anche all'interno delle campane più lontane dalla fonte di produzione. Ogni coppia di linee, alimentata dalla stessa caldaia a valle della quale avviene lo stacco delle tubazioni delle due utenze, è gestita da valvole di intercettazione manuali. Ogni utenza viene dotata di un gruppo di riduzione della pressione il cui scopo è quello di garantire alle utenze una pressione e temperatura del vapore costante (valore di *set point*) al variare del carico termico. La regolazione del flusso di vapore avviene quindi a monte dell'utenza in funzione del parametro temperatura rilevato nella campana a vapore da appositi termometri. Ogni campana è

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



provista anche di un rilevatore di umidità per il controllo delle condizioni dell'ambiente di stagionatura.

## 5.2 SISTEMA DI COMANDO E CONTROLLO

Ogni impianto di produzione del vapore è gestito in modo totalmente automatico ed autonomo tramite un apposito sistema di supervisione e controllo. Per i requisiti base relativi alla configurazione Hardware, Software e normative del sistema di controllo si faccia riferimento ai doc. [Rif. 12] e [Rif. 17]. Il sistema di controllo è composto essenzialmente da sensori installati in campo, unità di elaborazione accentrare in una sala tecnica e dislocate nell'impianto e nelle stazioni operatore dedicate al controllo dell'impianto stesso. Ogni sistema si interfaccia con il sistema di controllo principale dell'unità IPM tramite una connessione di tipo ridondante (hot-backup) del tipo seriale standard (RS-485, Modbus, etc), oppure attraverso comunicazioni client/server OPC.

Questi quadri sono montati localmente e vengono alimentati dal quadro generale IPM presente nel locale quadri.

L'automazione sarà dotata di tutti i sistemi necessari alla calibrazione, taratura ed autodiagnostica dell'impianto, all'archiviazione delle produzioni effettuate, ecc. Al sistema di automazione e controllo è affidata la gestione del processo di stagionatura accelerata dei moduli e dei coperchi e la verifica delle operazioni necessarie alla produzione del vapore, del mantenimento della temperatura e dell'umidità richiesta all'interno delle campane a vapore.

## 5.3 PROCESSO E TEMPSTICA

Per l'esecuzione del processo, il riscaldamento del calcestruzzo deve avvenire senza che perda parte della sua acqua d'impasto con conseguenti rischi di fessurazione promossi dal ritiro igrometrico. Di conseguenza per evitare il rischio della formazione di cricche interne occorre realizzare il riscaldamento in un ambiente sempre saturo di vapore. In questo modo, a fronte di un incremento della temperatura, l'impasto fresco non tenderà a cedere acqua all'ambiente poiché questo si trova in un ambiente controllato.

Si è scelto dunque di procedere, dopo la fase di getto, ad una stagionatura a vapore a basse temperature (non superiori a 100°C) in loco. Questo trattamento viene effettuato utilizzando vapore a pressione atmosferica prodotto dall'impianto di produzione di vapore saturo. Il vapore riempie l'ambiente confinato dalla campana a vapore

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



appositamente predisposto sul corpo del modulo (o coperchio). L'utilizzo di vapore come fluido termovettore permette un miglior controllo del gradiente termico.

Infatti, all'aumentare della temperatura all'interno della campana a vapore, aumenta anche la quantità di umidità necessaria a saturare l'ambiente stesso. Attraverso l'invio di vapore saturo, viene garantita la condizione adeguata di umidità che permette al calcestruzzo di maturare in modo da produrre resistenze meccaniche soddisfacenti.

Una volta terminato il processo di maturazione a vapore, è quindi possibile rimuovere i casseri e movimentare il corpo del modulo (o coperchio). Qui i moduli permangono in un grande ambiente con caratteristiche termo-igrometriche controllate per circa 28 giorni.

Alla fine della fase di maturazione i moduli (corpi e coperchi) sono pronti per essere trasferiti all'Impianto di Confezionamento Moduli (ICM).

### 5.3.1 Il trattamento a vapore a bassa pressione

La tipologia di trattamento a vapore che si ipotizza di impiegare per la maturazione accelerata dei getti è del tipo a bassa pressione con temperatura massima di maturazione di 60 °C. Nel processo di stagionatura accelerata si possono individuare quattro stadi:

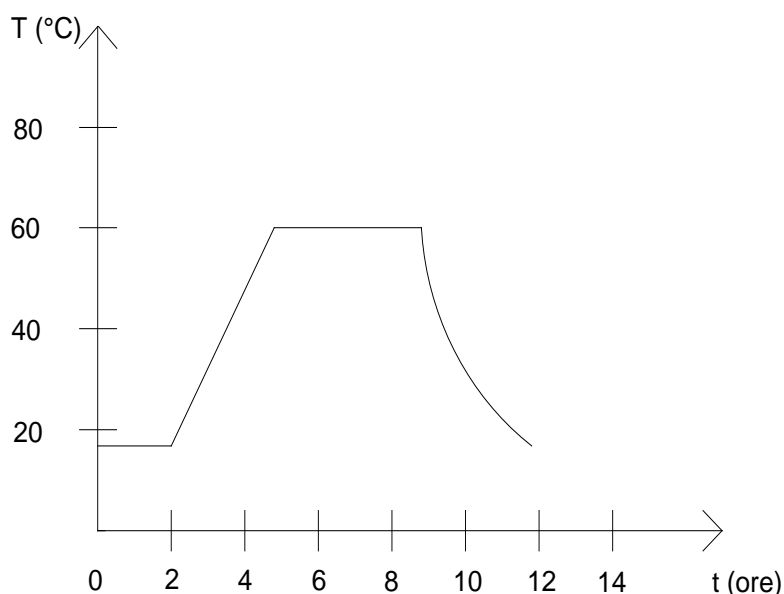
- **stagionatura preliminare:** viene eseguita a temperatura ambiente ed è necessaria per preparare il getto alla fase successiva in modo tale che, all'inizio dello stato seguente, il calcestruzzo non sia ancora fluido. Lo scopo è limitare l'insorgere di uno stato tensionale interno al getto dovuto al diverso coefficiente di dilatazione termica dei componenti del conglomerato cementizio, non ancora indurito, a fronte di un processo di riscaldamento. Per questa prima fase si assume un tempo di circa 2 ore
- **riscaldamento:** dopo la stagionatura preliminare, e il posizionamento della campana a vapore sopra il componente da trattare, la seconda fase consiste nell'invio di vapore all'interno della campana a vapore per portare l'ambiente intorno al corpo del modulo (o coperchio) alla temperatura massima stabilita (circa 60°C). La velocità di riscaldamento è fissata in base al periodo di stagionatura preliminare; a fronte delle scelte fatte, si ipotizza una velocità massima di 15°C/ora che fissa per questa fase un tempo di circa 2 ore e 30 minuti

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO</b> <b>DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica</b> <b>impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE</b> <b>01</b>



- **conservazione:** una volta raggiunta la temperatura massima prestabilita, si mantiene per un arco temporale tale da garantire il raggiungimento delle resistenze meccaniche desiderate. In questa sede, si ipotizza un tempo di circa 4 ore
- **raffreddamento:** chiude il ciclo di stagionatura la fase di raffreddamento a temperatura decrescente, da quella massima a quella ambiente, al fine di evitare uno shock termico sottoponendo il calcestruzzo a rapide variazioni di temperatura con conseguente indebolimento. Questa fase viene effettuata lentamente in un arco di tempo pari a circa 3 ore (1 e 30 minuti)

Il ciclo di stagionatura accelerata rientra dunque in un tempo totale di circa 11 ore e 30 minuti.



**Figura 3 – Diagramma temperatura-tempo – Stagionatura accelerata a vapore**

#### 5.4 IMPIANTO DI LAVAGGIO E GESTIONE DELLE ACQUE (GETTO E MATURAZIONE)

All'interno dell'edificio principale dell'Impianto di Produzione Moduli si svolgono diverse attività che utilizzano acqua. In particolare si hanno da una parte le aree di lavorazione e stagionatura a vapore dei moduli (corpi e coperchi), e dall'altra le aree di lavaggio dei casseri. L'acqua ivi utilizzata deve essere raccolta e drenata

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



esternamente per essere trattata (si faccia riferimento allo schema funzionale di cui al [Rif. 14]).

In particolare ogni navata è sede di due aree per la lavorazione dei corpi dei moduli, due aree per la lavorazione dei coperchi e due aree di lavaggio casseri (si veda la planimetria riportata nel documento di cui al [Rif. 8]). Le aree di lavoro dei manufatti producono acqua in due fasi distinte del ciclo di produzione: durante il lavaggio effettuato per pulire i residui di calcestruzzo potenzialmente caduti a terra nell'esecuzione delle operazioni di liscatura e di scasseratura, e durante la stagionatura accelerata per la condensazione del vapore. Una volta in posizione, ogni campana si trova all'interno di un cordolo in calcestruzzo impermeabilizzato di raccolta delle acque di condensazione che racchiude il manufatto (corpo modulo o coperchio) in maturazione e la rispettiva campana come in una piccola vasca. Il vapore saturo che condensa viene così raccolto e fatto defluire per gravità ad un punto di presa interno alla vasca delimitata dal cordolo dal quale l'acqua viene prelevata mediante una pompa fissa.

A fronte dei tempi stabiliti per le fasi di stagionatura e della portata massima fissata per i generatori di vapore ed assumendo per gli stessi delle percentuali di carico fase per fase, si stima una quantità massima di acqua condensata per ogni gruppo modulo (corpo modulo e coperchio) pari a circa 430 litri al giorno. Le pompe scelte per drenare esternamente quest'acqua sono della tipologia a membrana per fanghi idonee al pompaggio di fluidi con viscosità apparenti elevate anche in presenza di parti solide in sospensione (residui di calcestruzzo). Infatti oltre al vapore condensato queste pompe devono gestire anche le acque di lavaggio delle aree di lavorazione dei manufatti, stimate in circa 65 lt/giorno per gruppo, che possono contenere particelle solide derivanti dalle operazioni effettuate sui moduli. Si prevede dunque l'installazione di una pompa caratterizzata da una portata massima pari a 212 lt/min e tubazioni da 1 pollice per ogni coppia corpo modulo-coperchio. La stessa tipologia di pompa viene installata in prossimità delle aree di pulizia dei casseri. Una volta che i casseri sono stati smontati e trasferiti nell'area di lavaggio all'interno di apposite rastrelliere, l'operatore procede alla loro pulizia mediante una idropulitrice mobile dotata di lancia flessibile ad alta pressione con un getto di circa 13 lt/min a circa 200 bar. Avendo stimato per questa fase un tempo globale pari ad 1 ora ed assumendo per l'idropulitrice una percentuale di funzionamento pari al 30%, il quantitativo massimo giornaliero di acqua previsto è fissato in circa 235 litri. La stessa idropulitrice viene trasferita alle aree di lavorazione dei moduli per effettuarne il lavaggio mediante acque di rete.

<b>Relazione Tecnica</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>
<b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>REVISIONE 01</b>



Come visibile nello schema del documento di cui al [Rif. 14], la parte interna dell'impianto di gestione delle acque relativa a due navate dell'IPM è costituita da:

- 4 vasche definite da un cordolo in cls con pozzetto di raccolta e 4 pompe, per i gruppi corpo modulo-coperchio
- 2 vasche definite da un cordolo in c.l.s. con pozzetto di raccolta e 2 pompe, per le aree di lavaggio casseri

Tutte queste pompe scaricano i reflui (acqua con residui di calcestruzzo ed oli disarmanti) raccolti nelle vasche, all'esterno dell'edificio in un filtro separatore per mezzo di un'apposita rete di tubazioni distinte ramo per ramo; la portata di reflui in ingresso si attesta intorno ai 5 m<sup>3</sup>/giorno. L'utilizzo del filtro (pozzetto filtrante) è finalizzato alla disidratazione dei fanghi al fine di ottenere un prodotto finale solido che possa essere movimentato e smaltito con facilità, e di poter gestire l'acqua pulita separatamente.

L'acqua contenente ancora gli oli disarmanti, viene prelevata da una pompa di rilancio pneumatica e trasferita all'interno di una vasca esterna. Questa vasca costituisce un punto di prima raccolta in cui confluiscono tutte le acque impiegate nei lavaggi e le acque di lavaggio dei componenti che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco. Di conseguenza la vasca sarà caratterizzata da un volume in grado di ricevere il flusso d'acqua per 5 giorni, corrispondente ad un volume di circa 13 m<sup>3</sup>. Infine sulla linea di mandata a valle della vasca è previsto un campionatore per lo spillamento dell'acqua su cui effettuare le analisi di controllo. Prima dei risultati delle analisi, l'acqua viene ricircolata nella vasca attraverso un apposito circuito. In caso di esito positivo, l'acqua viene infine pompata alla rete acque di area per essere destinata al bacino di sito per il rilascio o ai sistemi di trattamento, a seconda dei risultati delle analisi di controllo.



<b>Relazione Tecnica</b>  <b>Impianto Produzione Moduli - Relazione tecnica impianti di produzione del calcestruzzo e del vapore</b>	<b>ELABORATO DN DN 00109</b>  <b>REVISIONE 01</b>
--	---



## **6 NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [Rif. 1] IAEA – General safety guide – GSG-1 – Classification of radioactive waste
- [Rif. 2] ENEA-DISP – Guida Tecnica N. 26. “Gestione dei rifiuti radioattivi”, settembre 1987
- [Rif. 3] Direttiva Macchine 2006/42/CE
- [Rif. 4] DN DN 00100 – Impianto Produzione Moduli – Relazione descrittiva generale
- [Rif. 5] DN DN 00101 – Impianto Produzione Moduli – Planimetria generale
- [Rif. 6] DN DN 00104 – Impianto Produzione Moduli – Pianta quota 0,00
- [Rif. 7] DN DN 00108 – Impianto Produzione Moduli – Specifica tecnica sistemi meccanici
- [Rif. 8] DN DN 00111 – Impianto Produzione Moduli – Assieme generale pianta e sezioni
- [Rif. 9] DN DN 00113 – Impianto Produzione Moduli – Assieme stazioni di betonaggio
- [Rif. 10] DN DN 00115 – Impianto Produzione Moduli – Campana di maturazione - dettagli
- [Rif. 11] DN DN 00116 – Impianto Produzione Moduli – Sinottico funzionale modulo e coperchio
- [Rif. 12] DN DN 00119 – Impianto Produzione Moduli – Schema a blocchi sistema di automazione e controllo
- [Rif. 13] DN DN 00144 – Impianto Produzione Moduli – Assieme generale modulo
- [Rif. 14] DN DN 00151 – Impianto Produzione Moduli – Schema funzionale raccolta acque di lavaggio
- [Rif. 15] DN DN 00152 – Impianto Produzione Moduli – Schema funzionale sistema produzione vapore
- [Rif. 16] DN DN 00153 – Impianto Produzione Moduli – Schema funzionale impianti di betonaggio
- [Rif. 17] DN DN 00171 – Impianto Produzione Moduli – Relazione sistema di automazione e controllo
- [Rif. 18] DN DN 00219– Impianto Produzione Moduli – Assieme coperchio modulo
- [Rif. 19] Normativa EN 14509
- [Rif. 20] Decreto Ministeriale 7 Agosto 2015 “Classificazione dei rifiuti radioattivi ai sensi dell’articolo 5 del decreto legislativo 4 Marzo 2014, n. 45”