

Impianto Confezionamento Moduli
Relazione generale impianto di grouting e sigillatura

Codice	DN DN 00048	Fase del progetto	Preliminare	Data	25/02/2016	Pag	1
--------	-------------	-------------------	-------------	------	------------	-----	---



Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



INDICE

1	ACRONIMI	3
2	PREMESSA	4
3	SCOPO	5
4	DESCRIZIONE GENERALE STAZIONE DI CEMENTAZIONE	6
5	DESCRIZIONE FUNZIONALE STAZIONE DI CEMENTAZIONE	7
5.1	PROCESSO DELLA STAZIONE DI CEMENTAZIONE E RELATIVE TEMPISTICHE	9
5.2	COMPOSIZIONE DELLA MALTA CEMENTIZIA PER GROUT E SIGILLATURA.....	11
5.3	COMPONENTI DELLE STAZIONI DI GROUTING E SIGILLATURA.....	12
5.4	APPARECCHIATURE PER IL GETTO DELLA MALTA, GROUTING E SIGILLATURA.....	14
5.5	SISTEMI DI CONTROLLO DELLE STAZIONI DI GROUTING E SIGILLATURA.....	16
6	STAZIONE DI GROUTING	17
6.1	DEFINIZIONE DEI FLUSSI E DEL FUNZIONAMENTO DELLA STAZIONE DI GROUTING	17
6.2	DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEI COMPONENTI PRINCIPALI – GROUTING.....	19
6.3	SEQUENZE PREPARAZIONE MALTA DI IMMOBILIZZAZIONE – GROUTING.....	22
6.4	IMPIANTO DI LAVAGGIO GROUTING.....	24
7	STAZIONE DI SIGILLATURA	26
7.1	DEFINIZIONE DEI FLUSSI E DEL FUNZIONAMENTO DELLA STAZIONE DI SIGILLATURA	26
7.2	DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEI COMPONENTI PRINCIPALI – SIGILLATURA	28
7.3	SEQUENZE PREPARAZIONE MALTA DI SIGILLATURA – SIGILLATURA	31
7.4	IMPIANTO DI LAVAGGIO SIGILLATURA	31
8	DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO	34

<p>Relazione Tecnica</p> <p>Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura</p>	<p>ELABORATO DN DN 00048</p> <p>REVISIONE 02</p>
---	--



1 ACRONIMI

- **DNPT** Deposito Nazionale e Parco Tecnologico
- **ICM** Impianto Confezionamento Moduli
- **IPM** Impianto Produzione Moduli

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



2 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. 21] – attività molto bassa e a bassa attività [Rif. 1] - VLLW e LLW secondo [Rif. 2]) 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. 21] – media attività e alta attività [Rif. 1] - ILW e HLW secondo [Rif. 2]).

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 DNPT, l'Impianto Confezionamento Moduli (ICM) è l'installazione dedicata al caricamento dei moduli con i manufatti e alla loro sigillatura mediante malta cementizia, costituendo di fatto un'ulteriore barriera statica al rilascio della contaminazione.

I moduli una volta preparati, caricati con i manufatti e poi sigillati, vengono trasferiti alle celle di deposito definitive.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



3 SCOPO

La presente relazione contiene la descrizione dei processi e dei componenti che costituiscono il complesso dei sistemi dedicati all'immobilizzazione e sigillature dei manufatti all'interno dei moduli, definiti nell'ambito del progetto preliminare del Deposito Nazionale e Parco Tecnologico finalizzato alla pubblicazione e presentazione al Seminario Nazionale. I sistemi sono:

- la stazione di "grouting", che produce la malta cementizia (grout) con il compito di immobilizza i manufatti all'interno del modulo
- la stazione di "sigillatura", che produce la malta cementizia destinata all'inghisaggio del coperchio al corpo del modulo stesso

La scelta di realizzare due sistemi di betonaggio, uno per la preparazione e il getto della malta cementizia per immobilizzazione e l'altro per la sigillatura, nasce dalla necessità di rispettare tempistiche ed esigenze tecniche, quali:

- garantire la produttività fissata ad otto moduli al giorno su due turni lavorativi di otto ore ciascuno
- predisporre le differenti quantità di malta necessarie per le operazioni di immobilizzazione e sigillatura
- la possibilità di impiegare nel confezionamento dell'impasto del grout acqua riciclata derivante dai processi di lavaggio delle due stazioni di betonaggio
- svincolare, per avere una maggiore flessibilità, le operazioni di grouting da quelle di sigillatura

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



4 DESCRIZIONE GENERALE STAZIONE DI CEMENTAZIONE

L'Impianto Confezionamento Moduli è dimensionato per una produttività di 8 moduli al giorno su due turni da otto ore ciascuno e di conseguenza le due stazioni di cementazione devono essere in grado di trattare 4 moduli per ognuno dei due turni di lavoro giornalieri.

All'interno dell'ICM, la sezione di processo è strutturata in blocchi fisicamente separati comprendenti diverse aree:

- una prima linea dedicata al caricamento dei manufatti all'interno dei moduli ed alla immobilizzazione (grouting) con malta cementizia
- una seconda linea, in asse alla prima, dedicata alla sigillatura del modulo con malta cementizia
- area dedicata alla giacenza temporanea dei coperchi dei moduli in lavorazione

Le stazioni di cementazione, sia per il grouting che per la sigillatura, a fronte delle necessità produttive indicate, sono costituite nel loro complesso da:

- due stazioni di produzione della malta cementizia (grouting e sigillatura), alloggiata in un locale esterno addossato al corpo principale dell'impianto di processo [Rif. 18]
- due postazioni di getto (immobilizzazione e sigillatura), situate internamente all'edificio ICM, costituite da un carrello traslante su binario che di interfaccia con il braccio meccanico mobile per il getto della malta [Rif. 18]
- un impianto di lavaggio del cemento residuale per ciascuna delle stazioni di betonaggio
- un sistema di supervisione e controllo, comprensivo di strumentazione ed elementi in campo per la gestione ed il comando del processo di cementazione

I macro-componenti appena elencati verranno descritti in dettaglio nei successivi paragrafi, viene qui riportata una sintetica descrizione del funzionamento generale. Per una corretta individuazione dei componenti, fare riferimento ai disegni [Rif. 7], [Rif. 8].

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



5 DESCRIZIONE FUNZIONALE STAZIONE DI CEMENTAZIONE

Come precedentemente introdotto, si riporta di seguito la descrizione del processo di confezionamento dei moduli per lo stoccaggio definitivo presso le Celle di Deposito.

Come indicato negli elaborati [Rif. 7] e [Rif. 10] il modulo è costituito da un contenitore prismatico in cemento armato (corpo del modulo) e il coperchio di chiusura. Nel complesso il modulo ha le seguenti dimensioni interne:

- altezza: 1,37 m
- larghezza: 2,75 m
- profondità: 1,79 m

Il volume utile di 6,7 m³ è in parte occupato da manufatti e per la restante parte dalla malta cementizia d'immobilizzazione.

Il processo è definito in modo tale da poter rispettare la produttività fissata ad otto moduli al giorno prodotti durante due turni lavorativi di otto ore ciascuno.

Si ipotizza di prelevare dalle aree dei buffer (loc. 002 e loc. 003) e caricare, nei due turni lavorativi, alternativamente 4 moduli contenenti fusti cilindrici e 4 con manufatti prismatici.

Lungo la linea di processo del ICM, i moduli sono riempiti con i manufatti prismatici o cilindrici conferiti al Deposito Nazionale e via via confezionati e sigillati ([Rif. 6]).

Il modulo, caricato con i manufatti, viene trasferito alla stazione di grouting facendo avanzare sulla linea di processo la navetta su cui è posizionato (DW010). L'afflusso della malta cementizia all'interno del modulo, è garantito da una pompa di rilancio e da un sistema a braccio meccanico che ne consente il getto dall'alto all'interno del modulo.

Il coperchio, in base alla sequenza operativa che si adotterà, può essere posizionato a chiusura del corpo del modulo prima o dopo dell'operazione di grouting. La possibilità di effettuare il getto del grout anche con il coperchio posto a chiusura è garantita dalla predisposizione, su quest'ultimo, di quattro fori progettati per consentire l'afflusso della malta.

Al termine dell'operazione di grouting, il corpo del modulo viene chiuso con il coperchio e trasferito mediante carroponte (DW008) nell'area di maturazione grouting (loc. 007) dove rimane per una settimana.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Passata la settimana di primo stoccaggio, il modulo viene preso dalla zona di maturazione grouting (loc. 007) dal carroponete (DW008) e posizionato sulla postazione di sigillatura, in asse alla prima linea di processo ma separata da essa. Tale separazione consente di procedere con le operazioni di sigillatura in parallelo a quelle di grouting.

L'immissione della malta cementizia per la sigillatura avviene attraverso i fori predisposti sul coperchio. Questa operazione garantisce l'inghisaggio del coperchio al corpo del modulo, realizzando una struttura monolitica pronta alla sistemazione definitiva.

Al termine della sigillatura il carroponete (DW009) porta il modulo nell'area di maturazione sigillatura (loc. 008) dove rimane per due giorni prima di essere trasferito, dopo ultimo controllo visivo e targatura, all'USM.

Le tipologie di manufatti che devono essere immobilizzati nei moduli comprendono contenitori standard e non standard che differiscono per numero e volume. Il progetto ha considerato come input l'elenco di contenitori riportato nel documento [Rif. 20].

Tuttavia, poiché i contenitori da trattare sono nella maggior parte fusti cilindrici da 440 litri e da 380 litri, nella stima dei tempi per l'esecuzione delle fasi del processo, e il dimensionamento degli impianti, si fa riferimento a moduli caricati con fusti CC-440 (6 per modulo) assunti come caso inviluppo.

In sintesi le sequenze principali del processo a regime sono:

- 1) caricamento dei manufatti nel modulo con posizionamento e fissaggio dei dispositivi di anti-galleggiamento (se necessari)
- 2) trasferimento del carrello con il modulo a bordo, caricato con i manufatti, nella prima postazione di cementazione (grouting)
- 3) immobilizzazione dei manufatti con malta cementizia (grout). Il riempimento viene effettuato lasciando un volume libero di circa 0,75 m³ per la successiva sigillatura avente lo spessore di 150 mm (questo processo può essere eseguito con o senza il coperchio)
- 4) trasferimento del modulo nell'area di maturazione grouting mediante carroponete e stazionamento per una settimana
- 5) trasferimento dall'area di maturazione grouting, mediante carroponete, del modulo pronto per la sigillatura nella seconda postazione di riempimento

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



- 6) riempimento con malta cementizia della restante parte di volume interna al modulo a garanzia dell'inghisaggio del coperchio al corpo del modulo
- 7) trasferimento, mediante carroponte, del modulo confezionato all'area di maturazione sigillatura per il completamento del processo, con un tempo di stazionamento stimato in due giorni
- 8) trasferimento, mediante carroponte, del modulo pronto per l'invio all'USM al carrello per il passaggio nell'area di uscita dei moduli
- 9) lavaggio, a fine giornata, delle linee di preparazione e travaso delle malte

Il tempo stimato per l'intera sequenza di confezionamento di un modulo è di 9 giorni.

5.1 PROCESSO DELLA STAZIONE DI CEMENTAZIONE E RELATIVE TEMPISTICHE

Il processo di immobilizzazione avverrà normalmente in due fasi successive: grouting (immobilizzazione) e sigillatura.

I manufatti all'interno dei moduli, poggeranno su appositi supporti forati precedentemente inseriti che permettono il flusso della malta cementizia anche nella zona sottostante i contenitori. Il volume occupato da questi supporti è stato considerato trascurabile nei calcoli per il dimensionamento preliminare degli impianti di betonaggio.

Il modulo viene riempito dall'alto con malta di adeguata fluidità (alta classe di consistenza, S5 o SCC) da permetterne la distribuzione omogenea intorno ai manufatti. Durante questa fase, come conseguenza dell'impiego di un impasto molto fluido, i manufatti saranno sottoposti alla spinta idrostatica. Occorre quindi verificare se tale forza verticale dal basso verso l'alto (spinta di Archimede), d'intensità equivalente al volume occupato dal manufatto per la densità del fluido in cui è immerso, sia inferiore o superiore al peso del manufatto stesso. A titolo esemplificativo prendendo a riferimento il manufatto più leggero, ovvero il fusto da 220 lt caratterizzato da un volume esterno di 0,264 m³ e da un peso massimo dei manufatti, contenenti rifiuti, con massa volumica media pari a 4,5 kN [Rif. 3], ed ipotizzando la completa immersione del manufatto nella malta con una densità allo stato fresco pari a 2030 kg/m³ si ha:

$$F_a = 2030 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,264 \text{ m}^3 \approx 5,3 \text{ kN} (>4,5 \text{ kN})$$

Poiché la spinta di Archimede risulta superiore al peso del manufatto più leggero, risulta verificata la possibilità di galleggiamento dei manufatti all'interno del modulo.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Per ovviare a tale problematica, sono pertanto previsti adeguati dispositivi anti-galleggiamento, posizionati sopra i manufatti e ancorati al modulo, che, all'atto del riempimento con la malta cementizia, vincolano i manufatti nelle loro posizioni originarie impedendo galleggiamenti e disassamenti. La soluzione adottata è inoltre in grado di garantire, in ogni direzione, uno spessore minimo di grout di 50 mm tra la superficie esterna dei manufatti e la superficie interna del modulo [Rif. 16].

Il tempo previsto per il caricamento di un modulo, compreso il tempo di trasferimento alla stazione di grouting e il posizionamento dei dispositivi di anti-galleggiamento, è pari a circa 1 ora.

Il modulo, dopo le operazioni di caricamento dei manufatti, arriva tramite carroponete (DW008) su apposito carrello alla prima linea di processo presso la stazione di cementazione. Il modulo viene riempito con malta cementizia prodotta secondo una ricetta d'impasto qualificata e controllata, le cui caratteristiche saranno definite in dettaglio nell'ambito delle attività di "Qualifica delle barriere"¹. Nella fase di grouting il getto della malta viene effettuata dall'alto (sopra i manufatti) mediante braccio meccanico mobile capace di distribuire omogeneamente la gettata che, grazie alla fluidità della malta, fluisce anche sotto i manufatti.

Nell'attuale ipotesi progettuale è possibile una certa flessibilità nelle operazioni di getto della malta cementizia per l'immobilizzazione dei manufatti in base alle necessità produttive che si riscontreranno: il coperchio è progettato in modo tale da interfacciarsi con il braccio di cementazione, nel caso le operazioni di grouting debbano essere effettuate con il coperchio posto a chiusura, grazie ai quattro fori predisposti su di esso.

Al fine di rispettare la produttività prefissata di otto moduli/giorno, ogni modulo deve essere cementato in non più di 1 ora per evitare fasi di attesa.

Al termine delle operazioni di grouting, il modulo viene trasferito, tramite carroponete (DW008), nell'area di maturazione grouting (loc. 007) in cui rimarrà stoccato a maturare per una settimana.

Dopo la maturazione del grouting, il modulo viene prelevato tramite carroponete (DW009) e posizionato su apposito carrello (DW010) alla seconda linea di cementazione, in asse alla prima, per la sigillatura definitiva.

¹ La qualifica delle barriere in calcestruzzo del DN ha l'obiettivo di definire le caratteristiche chimiche, fisiche, meccaniche nonché le procedure di realizzazione e qualificazione del Modulo+Grout (d'ora in avanti semplicemente 'Modulo'), al fine di *implementare la soluzione ingegneristica definitiva ed assicurare a lungo termine (350 anni) la sicurezza strutturale e la funzionalità di isolamento e confinamento dei radionuclidi.*

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Il getto della malta per la sigillatura del modulo, avviene tramite uno dei quattro fori predisposti per l'aggancio del coperchio. L'adduzione della malta all'interno dei moduli da sigillare, viene effettuata mediante pompa che alimenta il sistema di distribuzione composto da braccio meccanico che sorregge il tubo di getto. Nella fase di sigillatura, il braccio posiziona il tubo per il getto esternamente la coperchio ad una distanza tale da permettere la fuoriuscita di una determinata quantità di malta che indichi il completo riempimento del modulo per l'interruzione dell'operazione.

In definitiva, la sigillatura degli otto moduli giornalieri avviene globalmente in meno di 6 ore (tempo minimo teorico).

Al termine delle operazioni di sigillatura il modulo viene trasferito mediante carroponete (DW009) nell'area di maturazione sigillatura dove sosterrà per due giorni. Al termine dei due giorni il modulo è quindi pronto per essere trasferito al locale "sezione di buffer e uscita moduli sigillati" per essere inviato all'USM dopo controllo visivo.

L'intero processo di grouting e sigillatura per ogni modulo dura complessivamente nove giorni.

Per il dettaglio delle movimentazioni si rimanda al documento [Rif. 12].

5.2 COMPOSIZIONE DELLA MALTA CEMENTIZIA PER GROUT E SIGILLATURA

Di seguito viene fornita la composizione di una malta cementizia tipica utilizzata per l'immobilizzazione dei manufatti presa come riferimento per il dimensionamento degli impianti di betonaggio. La malta cementizie impiegata per il grout e quella per la sigillatura dei moduli differiscono esclusivamente per l'acqua impiegata per il confezionamento dell'impasto: per il confezionamento del grout (malta di immobilizzazione) potrebbe essere impiegata in parte acqua riciclata proveniente dai vari processi di lavaggio degli impianti (betoniere e linee).

La composizione della malta allo stato fresco è così definita (componenti espressi in kg/m³ di malta prodotto):

- cemento	315 kg/m ³
- cenere volante	55 kg/m ³
- sabbia 0-4 mm	1500 kg/m ³
- additivo super-fluidificante (liquido)	17 kg/m ³

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



- additivo viscosizzante (liquido) 0,16 kg/m³
- acqua 142,84 kg/m³

Si possono ricavare le percentuali dei singoli componenti in peso per la produzione di un singolo m³ di malta cementizia:

- cemento 15,5%
- cenere volante 2,7%
- sabbia 0-4 mm 73,9%
- additivo super-fluidificante (liquido) 0,8%
- additivo viscosizzante (liquido) 0,1%
- acqua 7%

5.3 COMPONENTI DELLE STAZIONI DI GROUTING E SIGILLATURA

Le stazioni di produzione della malta (grouting e sigillatura) comprendono i seguenti componenti principali:

- un silo per il cemento completo di coclea innalzatrice di trasferimento per ogni stazione di betonaggio
- un silo per la sabbia completo di coclea innalzatrice di trasferimento per ogni stazione di betonaggio
- un silo per la cenere volante completo di coclea innalzatrice di trasferimento per ogni stazione di betonaggio
- tre tramogge pesatrici di dosaggio per la calibrazione delle quantità di cemento, sabbia e cenere volante necessarie ad un ciclo di impasto, complete di coclee estrattrici dosanti, per ogni stazione
- un serbatoio di stoccaggio per l'additivo super-fluidificante liquido (unico per le due stazioni di grouting e sigillatura da 6 m³) e relative pompe
- un serbatoio di stoccaggio per l'additivo viscosizzante liquido (unico per le due stazioni di grouting e sigillatura da 2 m³) e relative pompe
- un serbatoio di dosaggio con sensore di livello per l'additivo super-fluidificante liquido e relativa pompa dosimetrica per ognuno dei due impianti di produzione della malta (grouting e sigillatura)

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



- un serbatoio di dosaggio con sensore di livello per l'additivo viscosizzante liquido e relativa pompa dosimetrica per ognuno dei due impianti di produzione della malta
- 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 per ognuno dei due impianti di produzione della malta cementizia
- un serbatoio con sensore di livello per il dosaggio a sottrazione dell'acqua chiarificata/industriale e relativa pompa di rilancio per la sola stazione di grouting
- due mescolatrici planetarie per l'impianto di grouting
- una mescolatrice planetaria per l'impianto di sigillatura
- un serbatoio di accumulo del grout, con agitatore per l'omogeneizzazione della malta, per ognuno dei due impianti
- una pompa di travaso e riciclo della malta, una per ogni impianto
- due valvole a manicotto per trasferire la malta nei contenitori o per riciclarla nel serbatoio di accumulo, per ogni impianto
- un sistema di campionamento e due valvole a manicotto per il controllo e l'eventuale ricircolo dell'acqua di lavaggio per la sola stazione di grouting
- una pompa di rilancio del surnatante al bacino di raccolta delle acque meteoriche secondo norma di legge

Le stazioni di produzione della malta cementizia (grouting e sigillatura) differiscono sostanzialmente per le quantità di malta da produrre e la tipologia di acqua utilizzata nel processo. Per questo motivo la stazione di grouting è fornita di 2 serbatoi: uno predisposto per il possibile recupero, ed accumulo, dell'acqua di lavaggio dai contenitori di raccolta mediante apposita pompa di rilancio del surnatante, e uno per l'acqua di servizio integrativa. La stazione di sigillatura invece utilizza solamente acqua prelevata dalla rete idrica di sito.

Tutti i componenti saranno installati all'esterno dell'edificio ICM e quindi realizzate le apposite penetrazioni per consentire il passaggio delle tubazioni di adduzione della malta. In particolare, per i silos di stoccaggio, è prevista un'installazione all'aperto mentre le altre apparecchiature si trovano all'interno di appositi locali [Rif. 18].

Entrambe le stazioni di cementazione sono provviste di braccio meccanico capace di interfacciarsi con il modulo da cementare, grazie ai dei quattro fori del coperchio, e con la tubazione di scarico dell'acqua di lavaggio.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Gli impianti di grouting e sigillatura sono completati dalle rispettive stazioni per la raccolta dei residui di lavaggio. Il lavaggio avviene a fine giornata, prima che il cemento abbia fatto presa nelle tubazioni di distribuzione. Infatti, dovendo rispettare la produttività di 8 moduli al giorno e minimizzare la produzione di ulteriore rifiuto, nei casi limite non si ha il tempo di effettuare il lavaggio al termine di ogni singolo turno di lavoro, ma alla fine del secondo turno giornaliero. Nello specifico verranno adibiti due appositi locali esterni adiacenti agli impianti di grouting e sigillatura, in cui i serbatoi di raccolta reflui sono costituiti da contenitori convenzionali idonei allo smaltimento dal volume utile di 5 m³ [Rif. 18].

Le stazioni di betonaggio sono provviste ciascuna di un ulteriore contenitore di scarico, adibiti a raccogliere l'eventuale eccedenza di malta prodotta dalle impastatrici e lo scarico della stessa nei casi di guasto e fermo impianto. Tali contenitori sono dalla geometria prismatica e volume di 5 m³, movimentabili mediante carrello elevatore e smaltiti come rifiuto convenzionale.

5.4 APPARECCHIATURE PER IL GETTO DELLA MALTA, GROUTING E SIGILLATURA

Le due stazioni di cementazione, grouting e sigillatura, sono dotate entrambe di uguali apparecchiature, meccaniche funzionali al getto della malta cementizia all'interno dei moduli in modo controllato e automatizzato. I due sistemi di getto sono posizionati a ridosso dei locali di produzione delle malte cementizie all'interno del locale "area caricamento moduli". Si riporta in seguito la descrizione componentistica e funzionale delle apparecchiature di getto.

5.4.1 Componentistica

Il sistema è composto da un braccio meccanico aggettante, montato su una colonna in acciaio ancorata a terra, capace di ruotare rispetto al piano orizzontale grazie all'azionamento di un martinetto a vite. All'estremo libero del braccio è locata la tubazione rigida di scarico, d'interfaccia al modulo, dal diametro di 50 mm, montata su di una slitta che ne consente la traslazione verticale mediante l'azionamento di un martinetto a vite.

Il braccio meccanico porta sulla sua sommità le linee di mandata e ricircolo della malta cementizia costituita da tubi flessibili passanti all'interno di staffe-guida che ne

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



garantiscono il corretto posizionamento durante le fasi di lavorazione e movimentazione. Su ognuna delle due linee è montata una valvola a manicotto, funzionali al getto o ricircolo della malta cementizia: le due valvole, lavorando simultaneamente in modo alternato, apertura e reciproca chiusura, consentono di deviare il flusso di malta, pompato dal serbatoio di accumulo e dosaggio, al tubo di getto durante le fasi di cementazione e al suo ricircolo nel periodo di attesa dell'arrivo del successivo modulo da lavorare.

Le due tubazioni sono in comunicazione con il serbatoio di accumulo e ricircolo della malta tramite apposita penetrazione realizzata sulla parete che divide i locali di processo, dove sono lavorati i moduli, da quelli di confezionamento della malta cementizia.

Tutti i componenti dove circola la malta sono progettati in modo tale da essere smontabili e intercambiabili ai fini di garantire la corretta pulizia, manutenzione e gestione dei disservizi nei casi di guasto.

Il tubo rigido di scarico per il getto della malta è dotato di due sensori laser misuratori di distanza funzionali alla verifica del corretto posizionamento del sistema di getto in corrispondenza del foro del coperchio del modulo e la misurazione e controllo del livello di riempimento del modulo. Il tubo-getto si interfaccia anche con il sistema di scarico dotato di raccogliatore anti-gocciolamento provvisto di un sistema di lavaggio a spruzzatori e foro di aggancio del tubo provvisto di guarnizione pneumatica gonfiabile di sigillatura propedeutica allo scongiuramento dei rigurgiti d'acqua durante le fasi di lavaggio effettuate con getto in pressione.

L'assieme del sistema di getto della malta è visibile al documento [Rif. 17].

5.4.2 Funzionamento

All'arrivo del modulo da cementare nella postazione predefinita, il braccio del sistema di adduzione della malta ruota dalla posizione di lavaggio a quella di getto posizionandosi in corrispondenza del foro del coperchio. Ultimato il centraggio della tubazione questa si avvicina al foro a una distanza predefinita traslando verticalmente. A questo punto si chiude la valvola a manicotto sulla linea di ricircolo e si apre quella sulla linea di getto garantendo così l'afflusso di malta al modulo.

Terminata la gettata si invertono la chiusura e l'apertura delle due valvole a manicotto mantenendo la restante malta in agitazione avviando il processo di ricircolo. A questo

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



punto il tubo getto viene rialzato dal modulo e successivamente il braccio ruota riportandosi nella posizione di lavaggio in attesa dell'arrivo del successivo modulo.

5.5 SISTEMI DI CONTROLLO DELLE STAZIONI DI GROUTING E SIGILLATURA

Le stazioni di produzione e riempimento, per il grouting e la sigillatura, comunicano con un sistema di supervisione e controllo comprensivo di strumentazione ed elementi in campo per la regolazione ed il comando dei componenti di impianto a servizio delle operazioni di cementazione. Questo processo è dotato di un pannello di controllo che automatizza le operazioni (con richiesta di consenso dell'operatore per le operazioni rilevanti) lasciando tuttavia la possibilità d'intervento manuale.

Il sistema di controllo dell'impianto di cementazione si interfaccia al sistema di supervisione principale HMI in sala controllo, attraverso una connessione ridondante (hot-backup a caldo). L'interfaccia sarà direttamente connessa alla rete dorsale locale LAN di impianto, mediante un protocollo standard Industrial Ethernet. La descrizione del sistema di supervisione e delle sue interazioni ed interfacce con il sistema di automazione, è riportata nel documento [Rif. 13] e l'architettura generale del sistema di controllo è illustrata nel documento [Rif. 14].

Attraverso l'acquisizione di segnali elaborati dai PLC di campo, il sistema di automazione e controllo è in grado di controllare in modo completamente automatico l'intero processo di cementazione in termini di trasferimento dei componenti, relativo dosaggio, miscelazione ed introduzione della malta nei moduli, garantendo le funzioni di comando e regolazione, di protezione, di supervisione e di allarme, che sono realizzate in maniera integrata. Detto sistema è realizzato in modo da portare l'impianto in condizioni di sicurezza, per quanto riguarda sia le persone che le apparecchiature, in caso di qualsiasi disservizio.

La diagnostica del sistema garantisce che tutti i malfunzionamenti hardware e software siano segnalati tempestivamente all'operatore, nel locale per operatore impianto delle stazioni di betonaggio per ridurre al minimo il tempo nel quale il sistema si trova ad operare in condizioni di guasto latente e per attivare opportune condizioni di sicurezza da parte dei programmi applicativi.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



6 STAZIONE DI GROUTING

La stazione di grouting è la prima postazione di cementazione dei moduli: in essa i manufatti vengono immobilizzati nei moduli tramite getto di malta cementizia qualificata. Le condizioni essenziali di funzionalità che deve soddisfare l'impianto sono le seguenti:

- garantire l'impasto omogeneo di malta cementizia secondo una ricetta specifica impostata sul sistema di controllo della stazione di produzione della malta
- garantire il deflusso della malta dalla tramoggia di raccolta del grout alla stazione di riempimento moduli all'interno dell'edificio dell'ICM in modo controllato fino all'altezza di getto stabilita

6.1 DEFINIZIONE DEI FLUSSI E DEL FUNZIONAMENTO DELLA STAZIONE DI GROUTING

Date le quantità in gioco ed i tempi necessari alle operazioni di preparazione della malta, si utilizzano due betoniere a miscelazione planetaria (mescolatrici planetarie) per garantire la continuità di servizio. In questo modo, durante il riempimento di un modulo con la malta prodotta dalla prima impastatrice, la seconda provvede alla preparazione della malta necessaria al grouting del modulo successivo garantendo l'assenza di tempi morti.

Ogni mescolatrice planetaria, dotata di rompi grumi, è collegata a tre tramogge pesatrici le quali prelevano il cemento, la sabbia e la cenere volante dai rispettivi silos di stoccaggio collocati esternamente ai locali tramite coclee innalzatrici. Le tramogge di caricamento e dosaggio sono dotate di celle di carico per la pesatura e il conseguente dosaggio del materiale. Queste sono direttamente interfacciate con il sistema di controllo della stazione di produzione della malta: in base alla ricetta preventivamente impostata dall'operatore sul pannello di controllo, ed alla quantità di malta necessaria, il sistema immette nelle mescolatrici dosi prefissate dei componenti solidi secchi.

Terminato il dosaggio e l'introduzione dei componenti solidi nella mescolatrice planetaria, il sistema di controllo gestisce l'immissione degli additivi chimici liquidi (super-fluidificante e viscosizzante) e dell'acqua alla mescolatrice.

Gli additivi liquidi vengono stoccati in serbatoi dedicati ed inviati ai rispettivi serbatoi intermedi da cui vengono prelevate le quantità necessarie all'impasto mediante pompe dosatrici.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



L'acqua necessaria alla formazione della malta viene prelevata in parte in un serbatoio di accumulo e dosaggio contenente acqua di rete, ed in parte in un serbatoio di raccolta e dosaggio caricato con acqua di post-lavaggio. Entrambi i serbatoi sono dotati di sensore di livello e pompa dosatrice. Il serbatoio di accumulo e dosaggio viene alimentato con acqua di rete e lavora ad integrazione in base alla richiesta dell'impianto di grouting. Il dosaggio di quest'acqua avviene per sottrazione sotto il controllo di un sensore di livello. L'altro serbatoio contiene l'acqua di lavaggio surnatante prelevata dai contenitori di raccolta da pompe di rilancio precedentemente filtrata. La predisposizione dei litri d'acqua richiesti dal sistema al serbatoio di dosaggio sarà gestita direttamente dal sistema di controllo della stazione di cementazione, in base alla quantità d'acqua chiarificata e recuperata a disposizione.

Il dosaggio di ogni componente introdotto nella mescolatrice, è sottoposto a doppio controllo per l'introduzione della quantità esatta nell'impasto. Per i componenti solidi questi vengono prelevati dai serbatoi di stoccaggio e introdotti all'interno di gruppi di accumulo e dosaggio dal volume noto, viene poi effettuato il dosaggio dei componenti solidi mediante misurazione in peso tramite tramogge pesatrici. I componenti liquidi vengono caricati in serbatoi di dosaggio dal volume noto, provvisti di indicatore di livello e pompa di dosaggio che comunica con il sistema di controllo e regolazione.

Ultimata la preparazione dell'impasto nella betoniera planetaria, la malta viene scaricata per gravità, tramite una portella idraulica, al serbatoio di accumulo del grout nel quale viene mantenuta in agitazione, da agitatore, per evitarne l'indurimento. Questo serbatoio permette di ricircolare la malta nei periodi di stop dell'impianto e di mettere in collegamento la mescolatrice planetaria con la pompa di adduzione della malta al modulo. Le operazioni di trasferimento della malta all'interno del serbatoio sono gestite direttamente dal sistema di controllo in base al ciclo operativo precedentemente impostato dall'operatore sul pannello di controllo sulla base dei moduli da cementare; le fasi rilevanti sono avviate solo dopo consenso dell'operatore. Tutte le operazioni possono essere gestite sia da sala manovra che direttamente dall'operatore mediante comandi manuali su quadro.

L'adduzione del grout all'interno dei moduli, viene effettuata mediante una pompa che alimenta il sistema di distribuzione della malta a braccio meccanico provvisto di tubo [Rif. 17]. E' inoltre prevista la possibilità di deviare il flusso della malta e riciclarla all'interno del serbatoio di accumulo del grout, e mantenerla in agitazione, nel caso in cui la malta non debba ancora essere inviata ai moduli. L'operatore si avvale delle immagini delle telecamere riportate sullo schermo visualizzatore per l'ispezione visiva

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



dello stato di riempimento dei contenitori da cementare. Una volta pronti, i moduli cementati e chiusi con il coperchio vengono trasferiti alla zona di maturazione grouting (loc. 007) dal carro ponte (DW008) dove rimangono 1 settimana.

Al termine della giornata lavorativa, l'operatore addetto provvede al lavaggio delle mescolatrici planetarie e dei dispositivi di adduzione della malta di grouting. Nello specifico verrà adibito un apposito locale esterno, affianco alla stazione di preparazione del grout, in cui il serbatoio di raccolta reflui è costituito da un contenitore idoneo allo smaltimento dal volume di 5 m³.

L'acqua di lavaggio viene prelevata dalla rete idrica di sito. Viene pompata nelle due mescolatrici planetarie, dotate di appositi ugelli spruzzatori, e in altri punti dell'impianto in direzione del braccio meccanico. Durante la fase di lavaggio il braccio meccanico si unisce con una tubazione che lo mette in comunicazione con il contenitore di raccolta delle acque di lavaggio presente nel locale di scarico.

Il locale di scarico è collegato con l'esterno tramite ingresso dimensionato in modo tale da permettere la sostituzione del contenitore di raccolta mediante muletto. Da qui i reflui surnatanti possono essere recuperati con pompa di rilancio e riutilizzati per il confezionamento dell'impasto cementizio d'immobilizzazione.

Al termine del suo riempimento il contenitore è smaltito esternamente come rifiuto convenzionale.

Lo schema generale dell'impianto di grouting, che ne definisce i flussi e la logica di funzionamento, è visibile nel documento [Rif. 15].

6.2 DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEI COMPONENTI PRINCIPALI – GROUTING

Per effettuare il dimensionamento dei componenti della stazione di produzione della malta, destinata al grouting, se ne definisce la quantità da produrre giornalmente per immobilizzare i manufatti.

La quantità di malta, prodotta dalla stazione di grouting, è legata alla tipologia dei manufatti da immobilizzare nei moduli.

In base ai requisiti funzionali, l'impianto di Confezionamento Moduli funziona giornalmente su due turni da 8 ore: nello specifico si prende a riferimento, per entrambi i turni giornalieri, il confezionamento di 4 moduli contenenti ognuno 6 fusti CC-440, in considerazione della numerosità di questa tipologia di manufatti.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Sulla base di questi dati di input si è effettuata una valutazione del carico di lavoro giornaliero dell'impianto di cementazione. Poiché ciascuno dei 6 fusti cilindrici ha un volume esterno pari a 540 litri [Rif. 3] e la cavità interna del modulo ha un volume pari a 6,9 m³, la malta totale necessaria per effettuare la cementazione è 3,66 m³: 2,91 m³ per la prima fase di grouting e 0,75 m³ sono per il getto di sigillatura. Di conseguenza, considerando che nella singola giornata lavorativa andranno confezionati 8 moduli contenenti ognuno 6 fusti cilindrici e che ogni modulo deve essere riempito con 2,91 m³ (la sigillatura viene infatti eseguita nei giorni successivi), l'impianto di produzione della malta per il grouting è dimensionato per produrre giornalmente una quantità di malta di circa 23,3 m³.

I silos ed i serbatoi di stoccaggio devono quindi essere in grado di stoccare sabbia, cemento, cenere volante, additivi ed acqua a garantire un produttività giornaliera di malta di 23,3 m³ pari a circa 47.800 kg.

In base alla composizione della malta, fornita nei paragrafi precedenti (vedi paragrafo 5.2), risulta che le quantità in peso dei singoli componenti per far fronte alle necessità di produzione giornaliera sono:

- cemento	7409 kg
- cenere volante	1290,6 kg
- sabbia 0-4 mm	35324,2 kg
- add. super-fluidificante (liquido)	382,4 kg
- additivo viscosizzante (liquido)	47,8 kg
- acqua	3346 kg

Volendo garantire all'impianto un'autonomia di 10 giorni (intervallo di tempo tra due successive operazioni di caricamento dei silos), le quantità minime da immagazzinare sono:

- cemento	74090 kg
- cenere volante	12906 kg
- sabbia 0-4 mm	353242 kg
- additivo super-fluidificante (liquido)	3824 kg
- additivo viscosizzante (liquido)	478 kg
- acqua	33460 kg

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Le capacità dei serbatoi e dei silos di stoccaggio, in base alle masse volumiche dei componenti, devono pertanto risultare non inferiori ai valori sotto riportati. Tutti i silos e le tramogge sono dotati di filtro depolveratore e di flessibili che garantiscano misure di peso più affidabili.

- cemento 50 m³
- cenere volante 15 m³
- sabbia 0-4 mm 200 m³
- additivo super-fluidificante (liquido) 4 m³
- additivo viscosizzante (liquido) 1 m³

Il volume dei silos 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 che così occupa un volume maggiore rispetto alla configurazione di massimo addensamento (massa volumica).

Con riferimento all'acqua d'impasto si prevede:

- un serbatoio, con un volume di 10 m³, di raccolta e stoccaggio dell'acqua recuperata dal lavaggio degli impianti di betonaggio, dal quale l'acqua viene prelevata con una logica di dosaggio a sottrazione
- un serbatoio di dosaggio alimentato con acqua di rete con un volume di 1 m³ dimensionato sulla base della quantità d'acqua massima necessaria per la produzione di un batch, dal quale l'acqua è trasferita mediante pompa dosimetrica

Per quanto riguarda l'additivo super-fluidificante, e quello viscosizzante, poiché si trovano in forma liquida, si prevede di realizzare dei serbatoi di stoccaggio unici per grouting e sigillatura da caricare manualmente ad un determinato intervallo di tempo e che, tramite pompe, alimentano i diversi serbatoi di dosaggio delle due stazioni di betonaggio.

Considerando di dover cementare un modulo contenente 6 CC-440, individuato come modulo critico su cui dimensionare il sistema, visti i tempi di caricamento e trasferimento alla stazione di grouting (60 minuti) e la quantità di grout da inserire in ogni modulo (2,91 m³), è stata scelta una pompa di adduzione della malta con portata almeno pari a 4 m³/h. Tale soluzione consente di smaltire la malta prodotta dalla stazione di produzione realizzando il riempimento dei moduli in tempi tali da rispettare la produttività dell'ICM, ed evitare tempi di attesa sulla linea di processo. Una pompa

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



di questa portata soddisfa anche la cementazione dei moduli nella configurazione di caricamento più gravosa, 8 fusti 220 lt, risultando essere un giusto compromesso dal punto di vista delle dimensioni.

6.3 SEQUENZE PREPARAZIONE MALTA DI IMMOBILIZZAZIONE – GROUTING

Per ottenere una malta cementizia nel rispetto dei criteri e dei requisiti previsti, la preparazione dell'impasto dovrà seguire la sequenza di operazioni riportata di seguito:

- miscelazione delle parti solide: sabbia, cemento e cenere volante
- aggiunta graduale dell'acqua alla miscela e degli additivi all'impasto
- omogeneizzazione finale dell'impasto

Ognuna di queste operazioni richiede un certo tempo di cui va tenuto conto per la definizione delle tempistiche del processo di cementazione. In questo intervallo di tempo l'impasto in preparazione non è disponibile per il riempimento dei moduli. Quindi, per garantire la continuità di servizio, è necessario prevedere due impastatrici. In questo modo, durante il riempimento di un modulo con la malta prodotta dalla prima impastatrice, la seconda provvede alla preparazione della malta necessaria al grouting del modulo successivo garantendo l'assenza di tempi morti.

Le impastatrici utilizzate nell'impianto saranno di tipo planetario chiuso: tale tipologia risulta infatti particolarmente efficiente e sicura contro eventuali perdite e sversamenti di materiale. Per la scelta della macchina si impone come parametro la resa effettiva: un giusto compromesso tra le dimensioni e le necessità produttive porta a scegliere due impastatrici da 2,5 m³ l'una perché, a fronte delle diverse tipologie e volumi dei manufatti che si cementano, c'è una richiesta di malta cementizia che varia da un minimo di 1 m³ a un massimo di 4,4 m³; potendo realizzare una staffetta fra le due impastatrici. D'altra parte si deve poter disporre di un impianto in grado di produrre batch di malta anche di volume inferiore, al fine di semplificare la produzione del grout destinato ai moduli che richiedono meno malta.

Poiché un modulo con i 6 CC-440 richiede circa 3 m³ di malta, il suo riempimento prevede il funzionamento in serie delle due impastatrici: la prima fornisce l'intero batch mentre la seconda ne mette a disposizione la parte mancante. Prendendo in considerazione anche il caso più gravoso, la cementazione di un modulo contenente 8 fusti da 220 lt, richiede 4,4 m³ di grout. La quantità di malta giornaliera necessaria varia quindi tra 24 e 36 m³, sono dunque necessari tra gli 8 e i 12 impasti al giorno.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Le tramogge di dosaggio della sabbia, del cemento e della cenere volante sono alimentate mediante coclee innalzatrici che prelevano il materiale dai rispettivi silos. Queste tramogge servono, alternativamente, le due impastatrici planetarie tramite delle coclee dosatrici. Le tramogge sono dimensionate in base alla quantità di materiale necessaria a preparare l'impasto di una macchina (2,5 m³). Gli additivi liquidi e l'acqua vengono invece prelevate tramite pompe dai rispettivi serbatoi. I serbatoi sono anch'essi dimensionati sul carico giornaliero massimo riferito al batch di produzione che richiede più malta.

Infine, il serbatoio di accumulo del grout è caratterizzato da una capacità utile inferiore alla massima resa utile della impastatrice planetaria ma tale da poter raccogliere la malta in eccesso che deve essere ricircolata nella pausa di lavoro prevista nel processo. All'interno del serbatoio di accumulo la malta viene tenuta in movimento da agitatore azionato da motore elettrico per garantirne l'omogeneità.

Tutti i componenti di trasferimento dei materiali necessari all'impasto cementizio devono consentire il riempimento della impastatrice al fine di permettere la preparazione del singolo batch di malta (2,5 m³) nei tempi previsti.

In definitiva l'impianto lavorerà in due fasi distinte da quattro moduli ognuna, tra le quali è necessario un ripristino della linea di processo.

Dopo le prime 8 ore di lavoro dell'impianto è previsto uno stop necessario a:

- riportare i 4 carrelli in posizione iniziale
- caricare i 4 carrelli con 4 nuovi moduli vuoti
- caricare il primo modulo da cementare
- riportare il primo modulo alla stazione di grouting

Lo stop tra le due fasi dura circa due ore e consente il ripristino delle condizioni iniziali. Durante questo tempo, l'eventuale impasto di grout già prodotto viene tenuto in agitazione per scongiurare una prematura solidificazione: per questo motivo è previsto il ricircolo all'interno del serbatoio di accumulo del grout, con l'introduzione nel caso di necessità di additivo ritardante per scongiurare la presa dell'impasto. A valle dello stop, inizia la fase di grouting dei successivi quattro moduli stimata sempre in 8 ore.

A fine del secondo turno lavorativo si provvede al lavaggio delle linee per preparare l'impianto alla successiva giornata di lavoro.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



In conclusione, assumendo come nullo il tempo di stop dell'impianto per la preparazione della malta tra la cementazione di un modulo ed il successivo, in virtù dell'installazione di 2 mescolatrici planetarie, il processo giornaliero di grouting degli 8 moduli avviene complessivamente in circa 18 ore (tempo minimo teorico).

6.4 IMPIANTO DI LAVAGGIO GROUTING

Al termine della giornata lavorativa, l'impianto di produzione e distribuzione del grout deve essere lavato per evitare l'indurimento della malta cementizia e scongiurare l'otturazione dell'impianto. A tale scopo è previsto un impianto di lavaggio i cui residui fangosi vengono raccolti in un contenitore (esterno all'ICM) che, una volta pieno, viene smaltito come rifiuto convenzionale. Per ricavare la quantità di questi rifiuti secondari, si è effettuato un dimensionamento preliminare dell'impianto di lavaggio su dati derivanti dalla progettazione della stazione di betonaggio e di alcune ipotesi progettuali.

In particolare si prende a riferimento una impastatrice/mescolatrice planetaria da 2,5 m³ con le seguenti dimensioni:

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

dove con altezza utile si intende la quota parte dell'impastatrice effettivamente "bagnata" dalla malta in agitazione.

Sulla base di questi dati e della geometria del componente, la superficie interna di una singola impastatrice "bagnata" dalla malta è pari a 15 m². Ipotizzando di avere a fine giornata un deposito di impasto dello spessore pari a 5 mm, si ha una quantità di materiale solido da rimuovere di 75 litri di malta.

Per il serbatoio di accumulo e dosaggio del grout si fanno le seguenti assunzioni di progetto:

- area di base: 1 m²
- altezza utile: 0,8 m

A fronte della geometria stabilita, la superficie del serbatoio di accumulo "bagnata" dalla malta è 4,2 m². Ipotizzando a fine giornata un deposito di impasto dello spessore di 5 mm, si ha una quantità di materiale solido incrostato da rimuovere pari a 21 litri di malta.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Infine si decide di stimare le incrostazioni presenti nelle tubazioni di distribuzione della malta pari a 30 litri.

I componenti dell'impianto di produzione e trasferimento della malta, e più precisamente le due mescolatrici planetarie, il serbatoio di accumulo e le tubazioni a valle, devono essere dotate di un impianto di lavaggio ad ugelli spruzzatori con getto d'acqua ad alta pressione. Si ipotizza che l'impianto di lavaggio deve iniettare una quantità d'acqua pari a 700 litri.

In definitiva, sommando il corpo di fondo delle due impastatrici planetarie, del serbatoio di accumulo del grout e delle tubazioni, si ha un rifiuto fangoso pari a 200 litri e una quantità d'acqua di lavaggio di 700 litri.

Ipotizzando di riciclare il 90% dell'acqua, il residuo fangoso totale a fine lavaggio all'interno del contenitore di scarico è pari a 270 litri. Poiché per il contenitore di raccolta dei residui si è ipotizzato un parallelepipedo con un'area di base interna di 3,38 m², ipotizzando che il residuo si distribuisca uniformemente su quest'area, si ottiene uno spessore di circa 8 cm. Poiché l'altezza interna utile del contenitore è 66 cm, tenendo conto del franco necessario ad accogliere l'ultimo lavaggio, questo va sostituito mediamente ogni 8 giorni lavorativi.

È previsto un ulteriore contenitore per lo scarico dell'eccedenza di malta prodotta dall'impianto e per lo scarico della stessa nelle condizioni incidentali.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



7 STAZIONE DI SIGILLATURA

La stazione di sigillatura ha come scopo il riempimento del modulo con malta cementizia fino a garantire l'inghisaggio del coperchio. L'impianto si trova a ridosso dell'edificio di processo in posizione adiacente ma separata rispetto all'impianto di grouting. Le condizioni essenziali di funzionalità che deve soddisfare l'impianto sono:

- garantire un impasto omogeneo della malta cementizia secondo una ricetta stabilita e impostata sul sistema di controllo della stazione di produzione della malta
- garantire il deflusso della malta dal serbatoio di raccolta alla stazione di sigillatura moduli, all'interno dell'edificio ICM, fino all'altezza di getto stabilita (colmo)

7.1 DEFINIZIONE DEI FLUSSI E DEL FUNZIONAMENTO DELLA STAZIONE DI SIGILLATURA

Per la preparazione della miscela secca viene utilizzata una betoniera a miscelazione planetaria (mescolatrice planetaria) collegata a tre tramogge di dosaggio che ricevono cemento, sabbia e cenere volante dai rispettivi silos tramite coclee innalzatrici.

Le tramogge di caricamento e dosaggio sono dotate di cella di carico per la pesatura dei componenti, direttamente interfacciate con il sistema di controllo della stazione di produzione della malta. In base alla quantità di malta necessaria, il sistema immette sabbia, cemento e cenere volante. L'immissione dei componenti solidi secchi, dalle tramogge al mescolatore, avviene tramite coclee dosatrici e celle di carico.

Parallelamente al dosaggio di questi componenti, il sistema di controllo gestisce anche l'immissione, subito successiva, degli additivi liquidi e l'acqua alla mescolatrice planetaria. L'additivo super-fluidificante liquido e quello viscosizzante vengono prelevati mediante pompa dosimetrica dai serbatoi di dosaggio che ricevono, a loro volta, gli additivi dai rispettivi serbatoio di stoccaggio; tutti i serbatoi sono provvisti di sensore di livello. Il sistema di controllo gestisce il funzionamento di questa fase mediante l'azionamento di una serie di valvole per la regolazione dell'adduzione alla mescolatrice.

L'acqua necessaria alla preparazione dell'impasto viene prelevata dalla rete idrica del sito e caricata nel serbatoio di accumulo e dosaggio. La predisposizione dei litri richiesti per il confezionamento dell'impasto viene gestita direttamente dal sistema di

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



controllo. Il sistema di controllo riceve i segnali dai sensori di livello e regola il dosaggio per sottrazione.

Anche in questo impianto, il dosaggio di ogni componente è sottoposto a doppio controllo per avere la certezza dell'introduzione della quantità esatta dei componenti per il confezionamento dell'impasto. Nello specifico, come già anticipato sopra, le tramogge di dosaggio dei componenti in polvere sono dotate di celle di carico e coclee dosatrici mentre i serbatoi dei componenti liquidi sono provvisti di indicatore di livello e pompa di dosaggio.

Ultimata la preparazione dell'impasto nella betoniera planetaria, la malta viene scaricata per gravità, tramite una portella idraulica, ad un serbatoio di accumulo del grout e mantenuta in agitazione, da agitatore, per evitarne l'indurimento. Questo serbatoio ha la funzione di accogliere la malta di ricircolo nei periodi di stop dell'impianto e di mettere in comunicazione la mescolatrice planetaria con il modulo da sigillare. Le operazioni di trasferimento della malta all'interno del serbatoio sono gestite direttamente dal sistema di controllo in base al ciclo operativo precedentemente impostato dall'operatore sul pannello di controllo. Tutte le operazioni sono comunque gestite anche direttamente, oltre che da sala controllo, dall'operatore mediante comandi manuali su quadro.

L'adduzione della malta all'interno dei moduli da sigillare, precedentemente posizionati tramite carroponete (DW009) sulla postazione di sigillatura, viene effettuata mediante una pompa che alimenta il sistema di distribuzione della malta al tubo di adduzione montato sul braccio meccanico. E' inoltre prevista la possibilità di deviare il flusso della malta e riciclarla all'interno del serbatoio di accumulo per mantenerla in agitazione nel caso in cui la malta non debba essere inviata ai moduli. L'operatore si avvale delle immagini delle telecamere riportate sullo schermo visualizzatore per l'ispezione visiva del completamento delle operazioni.

Una volta pronti, i moduli sigillati vengono trasferiti all'area di maturazione sigillatura mediante carroponete (DW009), dove rimangono 2 giorni per la maturazione della malta sigillante.

Al termine della giornata lavorativa l'operatore addetto provvede al lavaggio della mescolatrice planetaria e dei dispositivi di adduzione della malta. Nello specifico viene adibito un apposito locale esterno affianco alla stazione di preparazione della malta di sigillatura in cui il serbatoio di raccolta reflui è costituito da un contenitore prismatico idoneo allo smaltimento dal volume di 5 m³. L'acqua di lavaggio viene prelevata dalla rete idrica di sito e pompata nella mescolatrice planetaria, distribuita da appositi ugelli

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



spruzzatori, pompata verso il braccio meccanico e altri punti dell'impianto mediante apposito sistema. Il braccio di distribuzione della malta, durante la fase di lavaggio, si interfaccia con una tubazione che lo mette in comunicazione con il contenitore di raccolta delle acque di lavaggio presente nel locale di scarico. Quando il contenitore di scarico raggiunge un certo grado di riempimento, una pompa di rilancio preleva il liquido surnatante e lo invia al gruppo di accumulo e dosaggio dell'acqua chiarificata per essere riutilizzata nella produzione del grout. Quando il contenitore si riempie completamente di residuo di malta viene prelevato mediante muletto e smaltito esternamente come rifiuto convenzionale.

Lo schema generale dell'impianto di sigillatura che ne definisce i flussi e la logica di funzionamento è visibile nel documento [Rif. 19].

7.2 DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEI COMPONENTI PRINCIPALI – SIGILLATURA

Per effettuare il dimensionamento dei componenti della stazione di produzione della malta per la sigillatura si definisce la quantità di malta prodotta giornalmente per consentire la sigillatura dei moduli. Essa è indipendente dalla tipologia dei contenitori immobilizzati nei moduli, ma è legata ad un dato di input.

Secondo le ipotesi di progetto, infatti, ogni modulo arriva alla stazione di sigillatura solo parzialmente cementato. La stazione di sigillatura deve completare la cementazione dei moduli con circa 0,75 m³ di malta, per un'altezza di 150 mm, a cui è affidata la funzione di sigillatura finale del modulo con l'inghisaggio del coperchio.

Fissata la produttività giornaliera della stazione di sigillatura pari a 8 moduli, si è effettuata una valutazione del carico di lavoro giornaliero. La stazione di sigillatura riceve i moduli da cementare dall'area di maturazione grouting (da un'area di buffer e non di processo a differenza della stazione di grouting). Prevedendo la sigillatura in sequenza degli 8 moduli, al fine di diminuire il numero di operazioni di lavaggio, e che la sigillatura di ognuno richiede 0,75 m³ di malta, l'impianto di produzione dell'impasto per la sigillatura è dimensionato per produrre giornalmente una quantità di malta pari a 6 m³.

I silos ed i serbatoi di stoccaggio devono quindi essere in grado di contenere quantità di sabbia, cemento, cenere volante, acqua ed additivi in grado di garantire un produttività giornaliera di malta di 12.800 kg.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



In base alla composizione della malta fornita nei paragrafi precedenti (paragrafo 5.2), risulta che le quantità in peso dei singoli componenti richiesti per confezionare la malta necessaria a far fronte alle necessità di produzione giornaliere sono:

- cemento 1984 kg
- cenere volante 345,6 kg
- sabbia 0-4 mm 9459,2 kg
- add. super-fluidificante (liquido) 102,4 kg
- additivo viscosizzante (liquido) 12,8 kg
- acqua 896 kg

Volendo garantire all'impianto un'autonomia di 10 giorni (intervallo di tempo tra due successive operazioni di caricamento dei silos), le quantità richieste sono:

- cemento 19840 kg;
- cenere volante 3456 kg;
- sabbia 0-4 mm 94592 kg;
- add. super-fluidificante (liquido) 1024 kg;
- additivo viscosizzante (liquido) 128 kg;
- acqua 8960 kg.

Le capacità dei serbatoi e dei silos di stoccaggio dovranno pertanto risultare idonee a contenere le quantità di materiale sopra riportate. Tutti i silos e le tramogge devono essere dotati di filtro depolveratore e di flessibili che garantiscano misure di peso più affidabili.

- cemento 15 m³
- cenere volante 3 m³
- sabbia 0-4 mm 70 m³
- additivo super-fluidificante (liquido) 2 m³
- additivo viscosizzante (liquido) 1 m³

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Il volume dei silos 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).

Anche in questo caso, la mescolatrice utilizzata nell'impianto è di tipo planetario chiuso: tale impastatrice risulta infatti particolarmente efficiente e sicura contro eventuali perdite e sversamenti di materiale. Per la scelta della mescolatrice planetaria, si impone come parametro di scelta una resa effettiva della macchina pari alla quantità di malta necessaria per la sigillatura di 4 moduli (3 m³).

Considerando per la stazione di sigillatura un tempo di attesa tra un modulo ed il successivo pari a circa 15 minuti, dovuto al trasferimento mediante carroponete (DW009) del modulo da sigillare dall'area di maturazione grouting (007) alla postazione di sigillatura e quindi del modulo sigillato dalla postazione di sigillatura all'area di maturazione gouting (loc.008), per garantire un processo continuo e privo di tempi morti si sceglie una pompa di adduzione della malta con portata almeno pari a 3 m³/h, in grado di riempire un modulo con 0,75 m³ di malta in 15 minuti. In questo modo si riescono a sigillare quattro moduli in 2 ore con un unico batch di produzione della malta.

Le tramogge di dosaggio della sabbia, del cemento e della cenere volante sono alimentate mediante coclee innalzatrici che prelevano il materiale dai rispettivi silos; esse servono la mescolatrice planetaria tramite delle coclee dosatrici, dimensionate in base alle quantità di materiale necessarie a preparare l'impasto di una mescolatrice (batch da 3 m³). Parallelamente al dosaggio di questi componenti, il sistema di controllo gestisce anche l'immissione, subito successiva, degli additivi liquidi (superfluidificante e viscosizzante) e l'acqua alla mescolatrice planetaria. Gli additivi vengono prelevati mediante pompa dosimetrica dai serbatoi di dosaggio che ricevono, a loro volta, gli additivi dai rispettivi serbatoi di stoccaggio. Tutti i serbatoi sono provvisti di sensore di livello. Il sistema di controllo gestisce il funzionamento di queste fase mediante l'azionamento di una serie di valvole per la regolazione dell'adduzione alla mescolatrice. L'acqua necessaria alla formazione della malta viene prelevata da un serbatoio di dosaggio alimentato con acqua proveniente dalla rete di sito. Il serbatoio di dosaggio è provvisto di: totalizzatore all'ingresso dell'acqua di rete, sensore di livello e pompa dosatrice. La predisposizione dei litri richiesti dal sistema al serbatoio di dosaggio dell'acqua è gestito direttamente dal sistema di controllo della stazione di cementazione. Il serbatoio di accumulo del grout è caratterizzato da una capacità utile

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



inferiore alla massima resa utile della mescolatrice planetaria ma comunque in grado di poter raccogliere almeno la malta necessaria alla sigillatura di un modulo. All'interno del serbatoio di accumulo la malta viene tenuta in movimento da un agitatore azionato da motore elettrico per garantirne l'omogeneità.

Tutti i componenti di trasferimento dei materiali necessari all'impasto cementizio dovranno consentire il riempimento della mescolatrice, in modo tale da permettere la preparazione del singolo batch di malta (3 m³) nei tempi previsti.

7.3 SEQUENZE PREPARAZIONE MALTA DI SIGILLATURA – SIGILLATURA

Per ottenere una malta cementizia nel rispetto dei requisiti funzionali, la preparazione dell'impasto deve seguire la sequenza di operazioni riportata:

- miscelazione delle parti solide: sabbia, cemento e cenere volante
- aggiunta graduale dell'acqua alla miscela e degli additivi liquidi all'impasto
- omogeneizzazione finale dell'impasto

Ognuna di queste operazioni richiede un certo tempo di cui va tenuto conto per la definizione delle tempistiche del processo di sigillatura. Globalmente si ha un tempo totale di preparazione della malta di circa 20 minuti cui va aggiunto il tempo di trasferimento dei componenti (circa 30 minuti): in questo intervallo di tempo l'impasto in preparazione non è disponibile per il riempimento dei moduli.

Il processo di sigillatura prevede quindi una prima fase di preparazione della malta della durata di circa 50 minuti, cui segue la fase di sigillatura di 4 moduli in sequenza. Poiché il trasferimento di un modulo dall'area di maturazione grouting alla stazione di sigillatura e da questa all'area di maturazione sigillatura richiede globalmente 15 minuti, così come anche il riempimento di un modulo, questa prima parte del processo si chiude in poco meno di 3 ore. Terminata la sigillatura dei primi quattro moduli, le due fasi si ripetono per preparare gli altri quattro. In definitiva la sigillatura degli otto moduli giornalieri avviene globalmente in meno di 6 ore (tempo minimo teorico).

7.4 IMPIANTO DI LAVAGGIO SIGILLATURA

Per l'impianto di sigillatura viene predisposto un sistema di lavaggio simile a quello a servizio dell'impianto di grouting, come descritto nel paragrafo 6.4.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



Per conoscere l'entità dei rifiuti secondari (residuo fangoso e acqua), si è effettuato un dimensionamento preliminare dell'impianto di lavaggio della stazione di sigillatura.

In particolare si prende a riferimento una mescolatrice planetaria con una resa effettiva pari a 3 m³ che presenta le seguenti dimensioni:

- diametro interno: 3,3 m
- altezza utile: 0,5 m

dove con altezza utile si intende la quota parte dell'impastatrice effettivamente "bagnata" dalla malta in agitazione.

In base alla geometria della mescolatrice, l'area interna bagnata dalla malta è stimata 14 m². Ipotizzando di avere a fine giornata un deposito di impasto da rimuovere su questa superficie spesso 5 mm, si ha una quantità di materiale solido da rimuovere di 70 litri di malta.

Per il serbatoio di accumulo e dosaggio della malta si fanno le seguenti assunzioni di progetto:

- area di base: 1 m²
- altezza utile: 0,5 m

In virtù di questi ingombri, l'area sporca interna del serbatoio di accumulo si stima pari a 3 m². Ipotizzando a fine giornata un deposito di impasto sempre di 5 mm, si ha una quantità di materiale solido incrostato da rimuovere è 15 litri di malta.

Infine si decide di stimare le incrostazioni presenti nelle tubazioni di distribuzione della malta pari a 20 litri.

I componenti dell'impianto di produzione e trasferimento della malta, e più precisamente la mescolatrice planetaria, il serbatoio di accumulo e le tubazioni in cui fluisce la malta, saranno dotate di un impianto di lavaggio ad ugelli spruzzatori con getto d'acqua ad alta pressione, per i quali si assume di impiegare una quantità d'acqua di lavaggio di circa 500 litri.

In definitiva, sommando il corpo di fondo della impastatrice planetaria, del serbatoio di accumulo del grout e delle tubazioni si ha un residuo fangoso stimato di 110 litri e una quantità d'acqua di lavaggio (che si prevede quasi il riciclo totale) pari a 500 litri.

Ipotizzando di riciclare il 90% dell'acqua, e quindi di avere 50 litri che restano nel contenitore di scarico insieme al residuo di malta in esubero, il volume totale del rifiuto a fine lavaggio è 160 litri. Il contenitore di scarico è un parallelepipedo di area di base

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



interna 3,38 m²: ipotizzando che il residuo si distribuisca uniformemente su quest'area, si ottiene uno spessore di circa 5 cm. Poiché l'altezza interna utile del contenitore è 75 cm, tenendo conto del franco necessario ad accogliere l'ultimo lavaggio, questo va sostituito mediamente ogni 15 giorni lavorativi.

È previsto un ulteriore contenitore, posizionato sotto l'impastatrice planetaria, per lo scarico dell'eccedenza di malta prodotta dall'impianto e per lo scarico della stessa nelle condizioni incidentali, smaltito come rifiuto convenzionale.

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



8 DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- [Rif. 1] Decreto Ministeriale 7 Agosto 2015 “Classificazione dei rifiuti radioattivi ai sensi dell’articolo 5 del decreto legislativo 4 Marzo 2014, n. 45”
- [Rif. 2] IAEA – General safety guide – GSG-1 – Classification of radioactive waste
- [Rif. 3] UNI 11196 – Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Contenitori per il deposito finale di manufatti appartenenti alla Categoria 2
- [Rif. 4] Decreto Legislativo 15 febbraio 2010, n. 31 e ss.mm.ii - "Disciplina della localizzazione, della realizzazione e dell'esercizio nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché misure compensative e campagne informative al pubblico, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99"
- [Rif. 5] 2006/42/CE: Direttiva macchine
- [Rif. 6] DN DN 00041 – Impianto Confezionamento Moduli – Relazione descrittiva generale
- [Rif. 7] DN DN 00051 - Impianto Confezionamento Moduli – Pianta piano terra – Architettonico, meccanico, elettrico
- [Rif. 8] DN DN 00052 - Impianto Confezionamento Moduli – Pianta piano carriponte – Architettonico, meccanico, elettrico
- [Rif. 9] DN DN 00144 – Impianto Produzione Celle – Assieme generale modulo
- [Rif. 10] DN DN 00219 – Impianto Produzione Celle – Assieme generale coperchio modulo
- [Rif. 11] DN DN 00045 – Impianto Confezionamento Moduli – Relazione generale impianto di ventilazione
- [Rif. 12] DN DN 00044 – Impianto Confezionamento Moduli – Relazione tecnica impianti di movimentazione
- [Rif. 13] DN DN 00090 – Impianto Confezionamento Moduli – Relazione generale sistemi elettrostrumentali e automazione
- [Rif. 14] DN DN 00062 – Impianto Confezionamento Moduli – Architettura sistema di

Relazione Tecnica Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura	ELABORATO DN DN 00048 REVISIONE 02
--	---



automazione e controllo

- [Rif. 15] DN DN 00065 – Impianto Confezionamento Moduli – Schema generale impianto di grouting
- [Rif. 16] DN DN 00143 – Impianto Confezionamento Moduli – Piani di caricamento e dispositivi anti-galleggiamento
- [Rif. 17] DN DN 00212 – Impianto Confezionamento Moduli – Assieme braccio cementazione moduli
- [Rif. 18] DN DN 00092 – Impianto Confezionamento Moduli – Stazioni grouting e sigillatura
- [Rif. 19] DN DN 00314 – Impianto Confezionamento Moduli – Schema generale impianto di sigillatura
- [Rif. 20] DN SM 00007 - Inventario dei rifiuti radioattivi destinati al Deposito Nazionale
- [Rif. 21] ENEA-DISP – Guida Tecnica N. 26. “Gestione dei rifiuti radioattivi”, settembre 1987

<p>Relazione Tecnica</p> <p>Impianto Confezionamento Moduli Relazione generale impianto di grouting e sigillatura</p>	<p>ELABORATO DN DN 0048</p> <p>REVISIONE 02</p>
--	---

