

CO	04/06/12	Emissione per approvazione	AL	AG	YE
REVISIONE	DESCRIZIONE			EL	CON. APP.

**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
MAGISTRATO ALLE ACQUE**

**NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA
DI VENEZIA**

LEGGE N. 798 DEL 29-11-1984
 CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991
 ATTO ATTUATIVO REP. 8100 DEL 19-12-2005 (PROGETTAZIONE)
 ATTO ATTUATIVO REP. 8308 DEL 16-12-2008 (PROGETTAZIONE)
 ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 9^ ASSEGNAZIONE CIPE PER IL "SISTEMA MOSE" (OPERA)

**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER
LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA**

CUP: D51B02000050AC1

PROGETTO ESECUTIVO

(estratto del progetto esecutivo di WBS MA.L1.50, favorevolmente esaminato dal Comitato Tecnico di Magistratura del 21.04.2010 con voto n. 66 e del progetto esecutivo di WBS CH.L1.50, favorevolmente esaminato dal CTM del 18.09.2009 con voto n. 158)

WBS: MA.L1.50 - CH.L1.50
WBE: MA.L1.50.PE.02A - CH.L1.50.PE.02A

**BOCCA DI MALAMOCCO
IMPIANTI**

FORNITURA MACCHINE PRINCIPALI - I FASE

**IMPIANTI PNEUMATICI
RELAZIONE TECNICA**

ELABORATO  A. Tomazzi	CONTROLLATO  A. Grandini	APPROVATO  Y. Eprim
N. ELABORATO MV100P-PE-MRR-0001-02A-C0 MV100P-PE-MRR-0001-C0	CODICE FILE MV100P-PE-MRR-0001-02A-C0.doc	DATA 4 Giugno 2012

CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE VERIFICATO V. Adone  CONSORZIO VENEZIA NUOVA  Ing. M. Brotto	PROGETTAZIONE  ALBERTO SCOTTO Sez. A B) Civiltà e ambiente C) Sociale D) Infrastrutture E) Informatica IL RESPONSABILE: Ing. A. SCOTTO n° A 9782 MILANO
--	---

 PROGETTA	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 2
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

LEGGE N.798 DEL 29-11-1984

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991

ATTO ATTUATIVO REP. 8100 DEL 19-12-2005 (PROGETTAZIONE)

ATTO ATTUATIVO REP. 8308 DEL 16-12-2008 (PROGETTAZIONE)

ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 9^ ASSEGNAZIONE CIPE

PER IL "SISTEMA MOSE" (OPERA)

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE
DEI FLUSSI DI MAREA**

- PROGETTO ESECUTIVO -

BOCCA DI MALAMOCCO – IMPIANTI

FORNITURA MACCHINE PRINCIPALI – I FASE

IMPIANTI PNEUMATICI

RELAZIONE TECNICA

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 3
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

INDICE

1.	SCOPO	4
2.	Caratteristiche delle paratoie di Malamocco	6
2.1.	Dimensioni e pesi delle paratoie di Malamocco	6
2.2.	Volumi d'aria per la movimentazione delle paratoie di Malamocco	9
3.	Documenti di progetto	11
4.	CRITERI DI PROGETTO	12
4.1	Centrale di produzione aria compressa di Malamocco	12
4.1.1.	Analisi e Descrizione del sistema	12
4.1.2.	Basi progettuali	12
4.2.	Circuito di raffreddamento compressori	13
4.3.	Reti di distribuzione dell'aria	14
4.4.	Criteri di ubicazione delle apparecchiature e delle reti	14
5.	DESCRIZIONE DEL SISTEMA ARIA COMPRESSA PER L'OPERATIVITA' DELLE PARATOIE	15
6.	VERIFICHE PROGETTUALI	19
6.1.	Sistema aria compressa	19
6.1.1.	Analisi delle portate di aria richieste	19
6.1.2.	Calcolo della pressione di mandata di progetto dei compressori	22
6.1.3.	Analisi perdite di carico e curve caratteristiche del sistema tubazioni adduzione aria	26
6.1.4.	Analisi delle perdite di carico del circuito di espulsione aria in fase di abbattimento paratoie	27
6.1.5.	Tempi di abbassamento paratoie	28
6.1.6.	Verifica per tranciatura flessibili	31
7.	ALLEGATO 1	34
8.	ALLEGATO 2	37
9.	ALLEGATO 3	38

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 4
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

1. SCOPO

Le opere oggetto delle presenti MA.L1.50.PE.02A e CH.L1.50.PE.02A sono relative alla sola fornitura di n° 2 compressori centrifughi e di n° 2 gruppi elettrogeni della barriera di Malamocco e di n° 2 compressori centrifughi e di n° 2 gruppi elettrogeni della barriera di Chioggia.

Nell'ambito degli interventi per la salvaguardia di Venezia, il progetto esecutivo "impianti" per le opere da realizzare alla Bocca di Malamocco (WBS MA.L1.50) comprende il sistema di produzione e distribuzione dell'aria compressa per la movimentazione delle paratoie della barriera di Malamocco.

Il presente documento descrive le soluzioni impiantistiche adottate per il dimensionamento del sistema aria compressa necessario al sollevamento della barriera Malamocco.

La barriera di Malamocco è composta da 19 paratoie a spinta di galleggiamento, affiancate l'una all'altra.

Ogni paratoia è incernierata sul cassone di fondazione; per sollevarla nella posizione operativa è necessario immettere aria al suo interno con pressione sufficiente ad espellere l'acqua. La struttura delle paratoie è un cassone stagno all'ambiente esterno con l'eccezione di quattro aperture sul lato inferiore inclinato (vicino alle cerniere) che mettono il vano interno in comunicazione diretta con l'ambiente esterno permettendo il passaggio dell'acqua e di tubi flessibili di collegamento fra le tubazioni di adduzione dell'aria compressa (e di sfiato) e il vano interno della paratoia. L'aria insufflata ne promuove la spinta verso l'alto, fino a portarla in posizione di emersione e, successivamente, in posizione di lavoro con una inclinazione di 45°00'.

Quando le paratoie non sono utilizzate restano adagiate sul cassone di fondazione in posizione orizzontale, mentre determinano la chiusura della bocca di porto quando sono in posizione sia di emersione sia di lavoro.

La chiusura della bocca avviene quando tutte le paratoie sono sollevate dal recesso alla posizione di emersione, impedendo l'ingresso della marea.

Il tempo richiesto per effettuare tale operazione è di 30 minuti nominali; gli impianti pneumatici previsti consentono di raggiungere la posizione di chiusura della bocca di Malamocco, avvalendosi di tre o quattro compressori operativi, in un tempo compreso tra 25 e 35 minuti. In condizioni operative normali, per avere maggior margine di portata d'aria, si opererà con quattro compressori, due per ogni sottocentrale dell'edificio compressori. Il tempo realmente impiegato è funzione anche delle diverse condizioni ambientali e di corrente che si verificano durante tale operazione. In fase di emersione le paratoie vengono sollevate per gruppi, con le modalità indicate nel seguito.

Nei successivi 35-40 minuti circa, dall'emersione di tutte le paratoie, si raggiunge la posizione di lavoro delle paratoie che viene mantenuta continuando ad immettere aria per compensare l'aumento del dislivello mare - laguna.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 5
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

La corretta posizione delle paratoie in tutte le fasi operative è garantita dal sistema di regolazione preposto al loro controllo.

La prima fase di sollevamento delle paratoie, dal recesso sino alla posizione di emersione e poi di lavoro, richiede portate di aria e pressioni di mandata maggiori rispetto a quelle successive necessarie al solo mantenimento della posizione. La fase di sollevamento è quindi quella determinante per il dimensionamento dell' impianto pneumatico.

La centrale di compressione, costituita da sei compressori e relativi ausiliari, è ubicata nell'edificio compressori. La disposizione di quest'ultimo e la distribuzione degli spazi al suo interno consentono l'agevole movimentazione dei compressori e l'accessibilità richiesta per effettuare la loro manutenzione e future sostituzioni di loro parti o componenti.

La soluzione di lay-out adottata consente inoltre il rispetto dei limiti di rumorosità ammessi e la realizzazione di efficaci sistemi antincendio a tutela del personale e delle macchine impiegate.

L'asportazione del calore di compressione è affidato ad un circuito chiuso ad acqua glicolata raffreddata a mezzo di scambiatori ad aria (aircoolers) ubicati in area esterna.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 6
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

2. CARATTERISTICHE DELLE PARATOIE DI MALAMOCCO

Di seguito sono riportate le dimensioni, i pesi e i volumi d'aria per la movimentazione delle paratoie di Malamocco.

I parametri generali utilizzati nei calcoli sono:

- peso specifico dell'acqua: 10,1043 kN/m³
- peso specifico dell'acciaio: 77,0085 kN/m³

Si è considerata anche la situazione di paratoia incrostata considerando i seguenti depositi dovute a “fouling” e sedimenti intrappolati nello stesso:

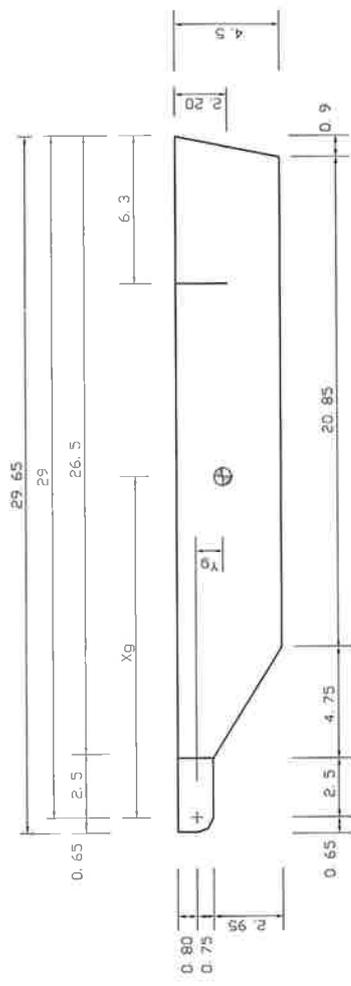
- sulla superficie superiore della paratoia: 0,5 kN/m²
- sulla superficie inferiore della paratoia: 0,2 kN/m²
- sulle superfici laterali della paratoia: 0,1 kN/m²

2.1. Dimensioni e pesi delle paratoie di Malamocco

La seguente tabella e la figura successiva riportano, per la paratoia dello sbarramento della bocca di Malamocco, le caratteristiche geometriche, i pesi e relativi baricentri (senza considerare i connettori) sia in condizioni di paratoia appena installata che al massimo grado di presenza di incrostazioni e sedimenti intrappolati.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Lunghezza totale	m	29,65
Lunghezza da asse cerniere	m	29,00
Altezza	m	4,50
Altezza setto	m	2,20
Peso paratoia pulita senza connettori	kN	3161,00
Peso incrostazioni	kN	429,00
Peso paratoia pulita senza connettori	kN	3161,00
X baricentro da cerniera	m	16,23
Y baricentro da cerniera	m	-1,28
Peso paratoia incrostata senza connettori	kN	3.590,00
X baricentro da cerniera	m	14,23
Y baricentro da cerniera	m	-1,16
Fondale	m	-14.00
Angolo di lavoro	gradi	45°00'

TABELLA. 1 – PARATOIE DI MALAMOCCO: PRINCIPALI DATI GEOMETRICI E DI PESO



Progetto esecutivo - Paratoia di MALAMOCCO

	Peso (kN)	Xg (m)	Yg (m)	Momento d'inerzia (kNm ²)
Pulita e senza connettori	3161	16.23	1.28	1074400
Incrostata e senza connettori	3590	16.04	1.18	1195548

Nota: Coordinate del baricentro e momenti d'inerzia all'asse cerniere

Fig. 1– Paratoia di Malamocco: principali caratteristiche geometriche

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 9
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

2.2. Volumi d'aria per la movimentazione delle paratoie di Malamocco

In condizione di riposo, le paratoie sono piene d'acqua e restano adagiate in posizione orizzontale all'interno dell'apposito recesso realizzato nei cassoni di fondazione.

L'azionamento delle paratoie per realizzare la chiusura del canale in previsione di un evento di acqua alta eccezionale avviene immettendo aria compressa all'interno delle paratoie ad una pressione tale che la pressione agente dall'interno sulle superfici d'acqua in corrispondenza delle aperture delle paratoie superi la pressione sulle stesse superfici dovuta al battente dell'acqua esterna alla paratoia e l'acqua interna venga quindi spinta fuori dalla paratoia e venga sostituita da una bolla d'aria in pressione.

Al fine di rendere più efficace lo svuotamento iniziale della paratoia questa è stata dotata di un setto parziale situato verso l'estremità della paratoia opposta alle cerniere ed i tubi di adduzione convogliano l'aria compressa all'interno dello pseudo compartimento individuato da tale setto, massimizzando il momento della spinta idrostatica rispetto all'asse di rotazione della paratoia.

Una volta iniziato il sollevamento, anche prescindendo dal volume d'aria che viene immesso dai compressori durante il transitorio dalla posizione coricata a quella di emersione, il volume di aria aumenta in quanto il battente idrostatico diminuisce e quindi l'aria si espande. La posizione di emersione della paratoia è quindi più innalzata rispetto a quella corrispondente al volume geometrico di aria con cui si è sollevata, ma comunque inferiore all'angolo di lavoro della barriera che è stato stabilito in 45°00'.

Di seguito sono riportati i risultati dei calcoli dei volumi d'aria necessari per sollevare le paratoie, per portarle in posizione di lavoro e per resistere, nella stessa posizione, ad un dislivello massimo di +2.0m s.l.m.m. Tali calcoli sono stati eseguiti per successivi valori di incremento di livello in mare di 10 cm e sono state valutate le quantità d'aria necessarie per regolare la paratoia inizialmente per un dislivello di +20cm e +40cm a partire dalla posizione di emersione in equilivello e quelli necessari per regolare la paratoia per i dislivelli massimi e quindi passare da un dislivello di +160 cm e +180 cm a quello finale di +200 cm.

Tutti i calcoli sono riferiti ad un livello in laguna di 0.65m s.l.m.m.

In tabella 2 sono riportati i risultati ottenuti nel caso di paratoia pulita e in tabella 3 per la paratoia con incrostazioni dovute a "fouling" e sedimenti intrappolati nella stessa.

Nelle stesse tabelle sono infine valutate le quantità totali d'aria necessarie per regolare le due schiere. Tutti i volumi d'aria sono espressi in Nm³ (Normal m³, ossia la quantità d'aria ad occupare un metro cubo di volume a 0°C di temperatura e alla pressione atmosferica sul livello del mare).

TABELLA 2 – PARATOIE DI MALAMOCCO: VOLUMI D’ARIA NECESSARI PER LA MOVIMENTAZIONE IN CONDIZIONE DI PARATOIA PULITA

Volumi d’aria per la movimentazione di una paratoia PULITA (livello in laguna pari a +0.65m sl.l.m.m.)		
Condizione	Δh mare-laguna [m]	Volume aria [Nm ³]
Quantità di aria per emersione	0.00	522
Quantità di aria da immettere per raggiungere la posizione di lavoro (45°00’)	0.20	702
Quantità di aria immersa globalmente per mantenere la posizione di lavoro (45°00’) per diversi dislivelli mare-laguna	0.40	1344
	1.60	2375
	1.80	2651
	2.00	2975

TABELLA.3 – PARATOIE DI MALAMOCCO: VOLUMI D’ARIA NECESSARI PER LA MOVIMENTAZIONE IN CONDIZIONE DI PARATOIA INCROSTATA

Volumi d’aria per la movimentazione di una paratoia incrostata (CON FOULING) (livello in laguna pari a +0.65m sl.l.m.m.)		
Condizione	Δh mare-laguna [m]	Volume aria [Nm ³]
Quantità di aria per emersione	0.00	572
Quantità di aria da immettere per raggiungere la posizione di lavoro (45°00’)	0.20	722
Quantità di aria immersa globalmente per mantenere la posizione di lavoro (45°00’) per diversi dislivelli mare-laguna	0.40	1389
	1.60	2457
	1.80	2738
	2.00	3074

 	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 11
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

3. DOCUMENTI DI PROGETTO

Il progetto esecutivo dell'impianto pneumatico è costituito dalla presente relazione e dai seguenti documenti di riferimento:

Impianti Pneumatici -Schema di principio	MV100P-PE-MRK-3001
Schema funzionale produzione e distribuzione aria	MV100P-PE-MRK-3101/3102
Schema funzionale tipico per package compressori	MV100P-PE-MRK-3003
Schemi funzionali controllo paratoie e flussaggio cerniere barriera di Malamocco	MV100P-PE-MRK-3034/3051
Disposizione apparecchi, pianta a quota pavimento; sez. A-A	MV100P-PE-MRD-4504
Disposizione apparecchi, pianta a quota copertura; sez. B-B - vista D	MV100P-PE-MRD-6002
Montaggio tubazioni, Locale compressione "A"; pianta	MV100P-PE-MPD-5027
Montaggio tubazioni, Locale compressione "B"; pianta	MV100P-PE-MPD-5029
Montaggio tubazioni, Locale compressione "A"; sezioni "B-B" e "C-C"	MV100P-PE-MPD-6009
Montaggio tubazioni, Locale compressione "B"; sezioni "B-B" e "C-C"	MV100P-PE-MPD-6010
Montaggio tubazioni, Locale compressione "A"; sezione "A-A"	MV100P-PE-MPD-6011
Montaggio tubazioni, Locale compressione "B"; sezione "A-A"	MV100P-PE-MPD-6012
Specifica tecnica compressori centrifughi aria di processo e fogli dati	MV100P-PE-MMS-1001

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 12
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

4. CRITERI DI PROGETTO

4.1 Centrale di produzione aria compressa di Malamocco

4.1.1. Analisi e Descrizione del sistema

La centrale di compressione dell'aria destinata alla movimentazione delle paratoie di Malamocco è ubicata nell'area impianti della spalla Sud di Malamocco.

La centrale è installata all'interno di un edificio interrato, suddiviso in due sottocentrali fisicamente segregate e indipendenti tra loro, costituite da tre compressori ciascuna.

Ogni sottocentrale alimenta un collettore di adduzione aria destinato alle paratoie di Malamocco. Il percorso della tubazione avviene in due distinti rami dei tunnel di superficie e nella due gallerie sotterranee della barriera. Questa configurazione assicura la completa ridondanza di tutto il sistema di distribuzione dell'aria ed esclude che un guasto per cause comuni possa impedire l'operatività delle paratoie.

Nelle normali condizioni di funzionamento, il sollevamento della barriera viene effettuato con l'impiego di 4 compressori, due per ogni sottocentrale, mantenendo funzionalmente separati i due collettori nelle gallerie.

E' comunque possibile, in caso di indisponibilità di una sottocentrale, rispettare i tempi massimi di progetto operando con solo 3 compressori.

Il valore massimo della pressione di erogazione dell'aria richiesto alle macchine è stato valutato nelle condizioni più conservative, considerando nel computo delle perdite di carico che la portata complessiva dei quattro compressori fluisca attraverso un'unica linea di alimentazione aria alla barriera (fuori servizio totale di una delle due linee principali), e che la stessa abbia una elevata scabrosità.

4.1.2. Basi progettuali

Il dimensionamento della centrale di produzione aria compressa è stato effettuato per la più gravosa delle tre seguenti condizioni operative:

- assicurare il sollevamento per gruppi delle paratoie della barriera, dalla posizione di recesso a quella di emersione, in 30 minuti nominali (essi possono variare in funzione delle condizioni ambientali da 25 a 35 minuti) considerando la disponibilità di n° 4 compressori in erogazione su un unico collettore di alimentazione aria alle paratoie;
- promuovere il raggiungimento della posizione di lavoro delle paratoie, a partire dalla condizione di emersione (considerando un incremento finale del dislivello mare-laguna di 0,2 m), in circa 30-40 minuti, considerando sempre in funzione 4 compressori su un'unica linea di alimentazione aria compressa;

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 13
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

- inseguire la marea crescente, con un gradiente massimo di 0,4 m/h, con impiego di tre compressori che erogino aria in una sola linea di distribuzione durante la condizione che richiede la maggior portata d'aria, quella con marea crescente da 1.6 m a 2.0 m (si fa presente che queste ultime condizioni sono puramente indicative della capacità dei compressori di operare anche in condizioni di dislivelli massimi con il gradiente massimo di marea; come è noto, in corrispondenza dei livelli massimi di marea la curva di marea è in prossimità del colmo e i gradienti di marea saranno minimi).

Nella determinazione del valore nominale della portata di ciascun compressore l'aria destinata alla movimentazione delle paratoie è stata incrementata del 7% rispetto alla necessità teorica, per far fronte all'eventuale sovrappeso originato dalla presenza di sedimenti e quindi dello sporcamento delle paratoie stesse. Inoltre è poi stato considerato, come margine di sicurezza, un fattore di sovradimensionamento pari a circa il 15 %, margine normale per questo tipo di applicazioni.

Allo scopo di assicurare la massima affidabilità al sistema di compressione ed erogazione di aria alle paratoie, si sono considerati i seguenti ulteriori criteri di sicurezza:

- in caso di fuori servizio di una sottocentrale, e quindi di indisponibilità di n.3 compressori, deve essere comunque possibile la chiusura della barriera col raggiungimento della posizione di emersione di tutte le paratoie, entro i tempi massimi di progetto, ossia dai 25 ai 35 minuti circa;
- i motori dei compressori sono stati a loro volta dimensionati con potenza superiore di almeno il 15 % rispetto a quella assorbita nelle condizioni nominali e comunque adeguata a gestire i compressori in qualunque punto della curva caratteristica di funzionamento essi operino.

4.2. Circuito di raffreddamento compressori

Per la descrizione dettagliata del sistema di raffreddamento compressori, si rimanda alla relazione tecnica MV100P-PE-MWR-0002 - "Bocca di Malamocco - Impianti raffreddamento compressori – Relazione tecnica".

Tuttavia, per meglio comprendere il funzionamento generale degli impianti pneumatici, si descrivono brevemente qui di seguito i principi generali del suddetto sistema.

Il calore generato dalla compressione dell'aria viene asportato da una soluzione di acqua glicolata, circolante in un circuito chiuso, che viene raffreddata attraverso il passaggio in batterie di scambiatori acqua/aria (air coolers), ubicati sul tetto dell'edificio elettrico. La scelta dell'interposizione di un fluido refrigerante intermedio non corrosivo e a basso punto di congelamento, permette, quindi, di poter utilizzare macchine "di serie,, ben sperimentate.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 14
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

Vicino all'edificio elettrico è realizzato un locale ove è installato il serbatoio destinato alla preparazione della soluzione di acqua glicolata, in grado di contenere la quantità necessaria al riempimento di entrambi i circuiti di raffreddamento dei compressori. Esso fungerà anche da serbatoio di recupero della miscela acqua e glicole, in caso di svuotamento degli stessi.

Le pompe che presiedono al riciclo dell'acqua glicolata, tra i compressori e gli scambiatori ad aria, sono posizionate in sale diverse (una per ciascun circuito) all'interno dell'edificio elettrico. La descrizione del sistema di raffreddamento è riportata nel documento impianto raffreddamento compressori – Relazione tecnica (MV100P-PE-MWR-0002).

4.3. Reti di distribuzione dell'aria

Dall'edificio compressori partono due collettori verso la barriera di Malamocco. I collettori, nelle aree di superficie della spalla Sud, sono, all'inizio, ubicati in due distinti tunnel interrati, scendono poi attraverso l'edificio di spalla e corrono nelle due gallerie (principale e secondaria) ricavate nei cassoni di soglia della barriera di Malamocco.

Ogni collettore è alimentato normalmente da una delle due sottocentrali di produzione dell'aria compressa ma, in caso di necessità (manutenzione o altro), può essere alimentato dall'altra sottocentrale o dai compressori di entrambe le sottocentrali. I due collettori, principale e secondario, possono infatti essere interconnessi tra loro con valvole motorizzate, tramite un sistema di by-pass, che permette la massima flessibilità operativa al sistema pneumatico di alimentazione aria alle paratoie.

Ognuno dei due collettori è stato dimensionato per la condizione di portata più gravosa che può essere richiesta.

4.4. Criteri di ubicazione delle apparecchiature e delle reti

Per l'ubicazione delle apparecchiature e per i tracciati delle tubazioni, si è adottata una soluzione progettuale che privilegia l'affidabilità del servizio, la adeguata accessibilità e manutenzionabilità del sistema, ponendo particolare attenzione a evitare rischi di guasto comune che potrebbero limitarne le prestazioni.

I circuiti pneumatici sono stati infatti progettati in doppio, segregati e protetti meccanicamente gli uni dagli altri, in modo tale che il guasto di una apparecchiatura o di una tubazione non abbia conseguenze per il circuito alternativo e quindi per l'operatività delle paratoie.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 15
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

5. DESCRIZIONE DEL SISTEMA ARIA COMPRESSA PER L'OPERATIVITA' DELLE PARATOIE

L'aria necessaria alla movimentazione delle paratoie di Malamocco, è fornita da due batterie di 3 compressori ciascuna; le macchine sono di tipo centrifugo a due stadi, refrigerate con acqua glicolata in circuito chiuso.

La loro potenzialità è stata valutata in modo da richiedere 4 unità in esercizio contemporaneo (normalmente si opererà con 2 compressori su una linea di distribuzione e 2 sull'altra, mantenendo i circuiti separati), per soddisfare la portata più gravosa richiesta nelle varie fasi operative delle paratoie.

Le macchine sono ubicate all'interno di un edificio e segregate in due distinte sale, ciascuna delle quali ospita 3 compressori.

In caso di necessità, per fuori servizio di una intera sala compressori, il sistema opererà con solo 3 unità, senza eccedere nei tempi massimi di sollevamento previsti.

L'aria compressa prodotta da ciascuna macchina viene convogliata, con tubazione da 8" in acciaio inox, ad un collettore comune da 14" ubicato all'interno di ciascuna sala.

E' stata prevista la possibilità di interconnettere i due collettori da 14" attraverso 4 valvole motorizzate, ubicate all'interno delle due sale compressori. In questo modo viene assicurata la possibilità, in caso di indisponibilità di una sottostazione, di alimentare entrambi i collettori avvalendosi di tutti e tre i compressori dell'altra sottostazione. Viceversa, è possibile alimentare ciascun collettore da entrambe le sottostazioni.

Le linee aria compressa destinate alla barriera corrono in due distinti tunnels, denominati principale e secondario. I tunnels entrano nell'edificio di spalla e le tubazioni dell'aria raggiungono le gallerie principale e secondaria dei cassoni di soglia, passando in 2 cavedi nei cassoni di spalla.

Su ciascuno dei due collettori da 14", all'uscita dell'edificio compressori, è prevista l'installazione di n.2 trasmettitori di pressione che, in logica 1 su 2, promuovono tramite il PCS il controllo dell'operatività dei compressori di ciascuna semisala, assicurando che le relative macchine operino costantemente al valore di pressione di erogazione stabilito, comune ad entrambe le barriere. Esso è stato identificato, per tutte le fasi operative, con la pressione massima necessaria all'esercizio delle paratoie nella condizione più onerosa tra quelle considerate (vedi paragrafo 6.1.2 seguente).

A ciascun compressore è associato un proprio sistema di controllo/protezione facente parte integrante della fornitura individuale dello stesso, che provvederà alle seguenti funzioni:

- controllo della pressione di mandata, tramite valvola modulante installata sull'aspirazione dell'aria;
- azione di antipompaggio;

 MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 16
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

- limitazione della massima portata erogata;
- protezioni della macchina (alte vibrazioni, bassa pressione olio di lubrificazione, etc.).

Entrambi i gruppi di tre compressori alloggiati nelle due sale saranno inoltre supervisionati da un controllore dedicato, costituente un nodo del sistema di controllo principale (PCS); esso svolgerà i seguenti compiti:

- gestione inserimento/disinserimento macchine in funzione delle esigenze;
- gestione automatismi delle macchine di riserva con rotazione ciclica delle stesse;
- gestione equalizzazione delle portate fra le macchine in funzione in parallelo;
- gestione assetto complessivo delle macchine relative alle due sale.

Ogni paratoia è provvista di due cerniere: a ciascuna di esse, in fase di sollevamento, affluisce l'aria attraverso due distinte tubazioni da 4" con allargamento finale a 6", alimentate in modo indipendente dai due collettori di distribuzione già citati. L'aria viene, quindi, immessa all'interno di ogni paratoia complessivamente attraverso quattro distinte tubazioni da 6", ciascuna delle quali è collegata con tre manichette flessibili da 3" ad un proprio tubo di distribuzione da 6", interno alla paratoia, che provvede a fare affluire l'aria in un apposito spazio provvisto di setto per il suo contenimento.

In fase di sollevamento, l'acqua di mare che inizialmente riempie le paratoie, defluisce da queste ultime attraverso aperture previste lungo la loro sezione obliqua, ubicata all'estremità opposta dei setti già citati. Tali aperture sono ricavate alla estremità inferiore della suddetta sezione.

Ciascuna tubazione da 4" di adduzione aria alle cerniere della paratoia è provvista di:

- valvola manuale di intercettazione con segnalazioni di stato di apertura/chiusura;
- strumento misuratore di portata (a trascurabile perdita di carico);
- valvola di controllo con attuatore elettrico di tipo modulante;
- valvola di non ritorno da 4".

Per la fase di abbattimento delle paratoie, quando occorre espellere l'aria per il loro ritorno a recesso, sono previste per ogni cerniera due tubazioni da 6" che raggiungono la galleria di scarico. Ogni tubazione è provvista di:

- valvola con attuatore elettrico ad apertura controllata con chiusura di emergenza a molla;
- strumento rilevatore di portata con funzione di flussostato.

Sul manifold da 6" comune a ciascuna linea di carico/scarico aria sono installate:

- valvola manuale di intercettazione con segnalazioni di stato di apertura/chiusura;

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 17
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

- valvola motorizzata elettrica on-off con chiusura di emergenza a molla;
- trasmettitore di pressione;
- manometro indicatore.

I collettore principale da 14" saranno realizzati in acciaio inox 316L compresi gli stacchi di adduzione aria alle paratoie fino alla prima valvola di intercettazione. Quest'ultima e le tubazioni a valle saranno invece realizzate in acciaio ferritico-austenitico, tipo Duplex 2507, un materiale estremamente resistente alla aggressività dell'ambiente salino.

A valle della valvola di controllo di adduzione aria è prevista l'immissione temporizzata di acqua industriale per fluire le tubazioni che possono essere bagnate dall'acqua mare dopo ogni intervento delle barriere. Rimuovendo quest'ultima, si limita la possibilità di corrosione localizzata e di incrostazioni saline. Tale linea di acqua è dotata di valvola on/off a comando pneumatico, di due valvole manuali e di valvola di non ritorno.

Il controllo dell'inclinazione di ogni paratoia è affidato a 4 inclinometri elettronici ed a 4 strumenti a colonna liquida, tutti installati al suo interno. Qui, sono pure installati n.3 trasmettitori di pressione dell'aria i quali, con il concorso della misura dell'angolo, consentono di valutare in maniera indiretta la quantità di aria immessa.

Tale informazione è di rilevante importanza per il controllo della fase di emersione delle paratoie, durante la quale è possibile che l'azione dinamica dell'acqua ritardi l'emersione delle stesse anche se riempite con una quantità di aria sufficiente. Essa consente di limitare l'immissione di aria a valori congruenti. Tale elaborazione è affidata al PLC adibito al controllo manuale ed anche alle protezioni di massimo angolo paratoia.

Ogni cerniera è inoltre dotata di un meccanismo di trasmissione della posizione della paratoia (in clinometro meccanico) che ne consente la misura all'interno del locale connettore. Qui sono montati due trasmettitori d'angolo (2 per ogni connettore) e un indicatore locale meccanico di posizione.

La regolazione della fase di decollo della paratoia è affidata ai controllori/totalizzatori di portata che assicurano l'immissione del volume di aria richiesto nel tempo stabilito per la specifica fase operativa, nella quale le paratoie sono sollevate per gruppi, ma controllate in maniera indipendente l'una dall'altra.

Dopo l'emersione di tutte le paratoie e quindi ad avvenuta chiusura del canale di bocca, il sistema di controllo promuove il raggiungimento della posizione di lavoro attraverso la modulazione delle valvole di immissione aria che ne assicurano la quantità necessaria al rispetto dei tempi stabiliti per tale operazione. Il successivo mantenimento dell'angolo di lavoro al variare del dislivello mare-laguna è affidato agli inclinometri che operano in split-range sulle valvole modulanti, di immissione e di espulsione dell'aria. Tutte le paratoie, durante le fasi di raggiungimento dell'angolo di lavoro e di inseguimento marea, operano contemporaneamente, ma in maniera del tutto autonoma.

Allo scopo di monitorare il profilo di pressione lungo i collettori di distribuzione dell'aria alle paratoie, all'interno delle gallerie sotterranee, sono stati previsti tre trasmettitori

 CONSORZIO VENEZIA NUOVA	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 18
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

di pressione su ciascuna linea (principale e secondaria). I collettori a fine linea sono invece dotati di sensori doppi perché possano fungere da strumenti di controllo della pressione di mandata compressori in caso di insufficiente disponibilità della stessa all'estremità dei collettori stessi.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 19
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

6. VERIFICHE PROGETTUALI

6.1. Sistema aria compressa

La corretta scelta delle caratteristiche dei compressori è stata effettuata ricercando la condizione di lavoro più gravosa degli stessi. Tale ricerca è stata prima condotta sulle portate di aria richieste durante le diverse fasi di lavoro, dal decollo al mantenimento, per individuare il flusso più elevato. Successivamente, si sono determinate le perdite di carico nella condizione più gravosa accertata in precedenza ipotizzando la disponibilità di un unico collettore. Si è quindi tenuto conto della massima contropressione statica a cui le paratoie opereranno e le perdite di carico concentrate per strumenti e valvole sulle linee, per ricavare infine le curve di lavoro del sistema nelle diverse fasi operative.

Nei successivi paragrafi viene illustrata nel dettaglio l'analisi condotta; i dati per i volumi d'aria necessari, sono indicati nel paragrafo 2.2.

6.1.1. Analisi delle portate di aria richieste

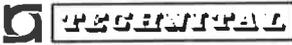
I volumi di aria riportati in precedenza sono stati maggiorati per tutte le fasi operative del 7 %, per tenere conto dello sporcamento delle paratoie.

Nella selezione della portata di progetto complessivamente richiesta si sono ulteriormente incrementati i valori ottenuti di circa il 15 % per avere un margine operativo che possa far fronte alla eventuale perdita di efficienza dei compressori nel tempo ed alla possibile tranciatura di qualche flessibile (fino a 3).

La determinazione delle portate nelle condizioni più gravose è stata fatta correlando i volumi di aria ai tempi di esecuzione previsti per le varie condizioni di esercizio.

In particolare, si è tenuto conto delle tre fasi operative che riassumiamo brevemente:

- **Fase 1.** Decollo di tutte le paratoie, dalla posizione di riposo a quella di emersione e chiusura delle barriere in 30 minuti nominali (da 25 a 35 minuti), considerando di effettuare il sollevamento contemporaneo di quattro paratoie ogni sei minuti. La condizione più gravosa è stata valutata per l'impiego di n. 2+2 compressori in mandata su un unico collettore di alimentazione dell'aria compressa, considerato, ai fini delle perdite di carico, ad elevata rugosità ("tubo vecchio");
- **Fase 2.** Raggiungimento della posizione di lavoro da quella di emersione (con dislivello finale mare-laguna di 0,2 m), in 30-40 minuti, considerando di operare come per la fase 1, con 2+2 compressori in funzione su un unico collettore di aria compressa. Essi devono assicurare, nel tempo stabilito, l'erogazione dell'aria supplementare necessaria a portare le paratoie dalla

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 20
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

posizione di emersione a quella di lavoro. Tale fase prevede il sollevamento contemporaneo di tutte le paratoie;

- **Fase 3.** "Inseguimento" della marea crescente dopo il raggiungimento della posizione di lavoro (con gradiente massimo di 0,4 m/h di dislivello mare-laguna), impiegando normalmente solo uno, due o tre compressori, per le minori portate richieste. Tale fase prevede il movimento contemporaneo ma indipendente di tutte le paratoie. Come condizione limite i compressori devono assicurare il differenziale di aria richiesto da tutte le paratoie quando la marea sale ed il dislivello mare/laguna cresce da 1,6 m a 2,0 m.

L'esito dei calcoli effettuati è riassunto nella tabella 4 dalla quale si evidenzia, per la fase più sfavorita, la portata complessiva di aria richiesta e quella nominale che ciascun compressore deve assicurare.

TABELLA 4 – DATI DI BASE PER DIMENSIONAMENTO E CONDIZIONI OPERATIVE
COMPRESSORI

DESCRIZIONE E UNITA' DI MISURA	VALORE	NUMERO COMPRESSORI IN MARCIA	
		3	4
Portata complessiva sistema compressori	Nm ³ ./h	18000	24000
Numero paratoie	N°	/	/
Angolo di lavoro	gradi	/	/
Fase 1 Quantità di aria necessaria per emersione di 1 paratoia / 19 paratoie	Nm ³	522 / 9918	/
Maggiorazione volume aria (7%) per considerare sporcamento paratoie	Nm ³	9918 x 1,07 = 10612	/
Tempo per decollo paratoie da recesso ad emersione	minuti	/	35'21"
Fase 2 Quantità di aria necessaria per passare dalla fase di emersione a quella di lavoro 1 paratoia / 19 paratoie	Nm ³	711 / 13509	/
Maggiorazione volume aria (7%) per considerare sporcamento paratoie	Nm ³	13509 x 1,07 = 14455	/
Tempo per passaggio da posizione emersione a posizione di lavoro	minuti	/	30'00"
Fase 3 Quantità di aria richiesta per inseguire un incremento massimo di livello marea pari a 0,4 m/h 1 paratoia / 19 paratoie	Nm ³	600 / 11400	/
Maggiorazione volume aria (7%) per considerare sporcamento paratoie	Nm ³	11400 x 1,07 = 12198	/
Verifica portate per inseguimento marea Fase 3	Nm ³ /h	12198	<18000

(*) Con regolazione della portata

NOTA: i tempi possono variare leggermente a seconda delle condizioni meteoriche

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 22
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

6.1.2. Calcolo della pressione di mandata di progetto dei compressori

La pressione di progetto dei compressori è stata determinata valutando, nella fase di sollevamento più onerosa, la portata richiesta, il battente statico da vincere e le perdite di carico concentrate e distribuite delle linee di adduzione aria, dalla mandata compressori al punto più remoto delle paratoie; il percorso tubazioni considerato è quello riscontrabile nelle piante e sezioni di montaggio ed illustrato in termini riassuntivi negli schemi allegati (v. figura 2).

Avendo selezionato dei compressori centrifughi ed imposto una pressione di mandata costante, tutto il controllo delle portate d'aria, con contropressioni molto diverse nelle varie fasi del sollevamento delle due barriere, è affidato alle valvole di regolazione in servizio alle paratoie.

Dagli schemi di flusso del controllo paratoie e dei compressori, si rilevano inoltre alcuni aspetti progettuali adottati per assicurare efficacia ed affidabilità al servizio di erogazione aria e le soluzioni strumentali selezionate per garantire il migliore controllo delle diverse fasi di esercizio delle paratoie. Tra i principali facciamo rilevare:

- 1) il collegamento diretto di ciascun compressore ad un collettore di sottostazione che può alimentare l'uno o l'altro dei due collettori (primario e secondario) che corrono nei tunnels (vedere documento MV100P-PE-MRK-3001 "Impianti pneumatici – Schema di principio generale"),
- 2) su ciascuno stacco dell'aria destinato al singolo connettore della paratoia, dalla barriera di Malamocco, è stata prevista l'installazione di una valvola di regolazione e di un misuratore di portata ai quali è affidato il controllo del flusso di aria nella fase di sollevamento della paratoia fino all'emersione e nel successivo raggiungimento della posizione di lavoro,
- 3) il monitoraggio della portata, la totalizzazione di quella complessiva immessa nella paratoia e delle altre grandezze operative consentirà di "memorizzare" il comportamento della barriera nelle specifiche condizioni di alta marea e di avvalersi poi di tali dati storici per preimpostare o migliorare in futuro i parametri di controllo paratoie in presenza di situazioni analoghe.

La procedura di calcolo adottata per determinare la pressione minima che ciascun compressore deve assicurare nella situazione più gravosa è stata la seguente:

1. si è ipotizzato l'impiego di un solo collettore per alimentare la portata complessiva di aria alle paratoie;
2. per ciascun tratto del percorso tubazioni si sono determinate le perdite di carico con l'ausilio di una procedura basata sulle note correlazioni di Darcy e sul diagramma di Moody. Il fattore di attrito tiene conto della rugosità di 0.25 mm ipotizzata per tubazioni "vecchie".

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 23
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

La formula di Darcy utilizzata è la seguente:

$$\Delta h = \frac{f \cdot v^2 L}{d \cdot 2g}$$

dove:

- Δh = perdite di carico in m;
- L = lunghezza linea in m;
- v = velocità del fluido in m/s;
- d = diametro interno tubo in m;
- f = fattore di attrito (dal diagramma di Moody).

3. si è ricavata, per i singoli tratti, una correlazione che consentisse di esprimere la perdita di carico in funzione di una portata comune di riferimento; a causa della diversità di portate che caratterizza i singoli tronchi del percorso ognuna di esse è stata espressa in funzione della portata di progetto;
4. si sono quindi calcolate le perdite di carico di ciascun tratto con l'espressione:

$$D_p = KW^2$$

dove:

- D_p = perdita di carico in bar
 - W = portata di aria in Nm³/h
 - K = costante di proporzionalità specifica del singolo tratto di percorso e rappresentativa del diametro, lunghezza, curve, valvole, costituenti l'assetto tubazione di riferimento;
5. si sono sommate le diverse espressioni analitiche di ciascun tratto di linea, ricavando una equazione che esprimesse la perdita di carico complessiva al variare della portata, del tipo $\Delta P = \sum KW^2$;
 6. per quanto riguarda le perdite di carico concentrate, si sono attribuiti al misuratore di portata e alle valvole manuali, delle specifiche perdite di carico in corrispondenza della portata massima, ricavando per tali restrizioni una espressione del tutto simile a quella sopra indicata. Essa, sommata all'equazione già nota, ha permesso di ricavare per l'intero circuito l'espressione analitica della curva caratteristica del sistema;
 7. si è quindi calcolata la minima pressione richiesta per il sollevamento delle paratoie, sommando al valore risultante dall'espressione analitica della curva caratteristica delle perdite di carico, il termine relativo al battente idrostatico da vincere. Alla pressione minima richiesta per il sollevamento delle paratoie, si è aggiunto un margine di sicurezza, determinando così la pressione di progetto.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 24
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

Per la bocca di Malamocco la condizione più gravosa per la pressione è quella che si registra in fase di decollo delle paratoie, dove occorre vincere il battente idrostatico di questa barriera.

Nella tabella 5 sono riassunti i dati più significativi utilizzati per stabilire la pressione di progetto dei compressori in servizio alle paratoie di Malamocco.

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 25
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

TABELLA. 5 – CALCOLO PRESSIONE PROGETTO COMPRESSORI

BARRIERA di MALAMOCCO	
Numero Paratoie	19
Fase 1	
Portata per emersione in 30° [Nm ³ /h]	21736
Perdita di carico circuito [bar](*) (max- ultima paratoia)	0,84
Contropressione statica [bar (a)]- max.	2,80
Pressione richiesta [bar (a)]*	3,64
Fase 2	
Portata di aria per passare dalla posizione di emersione a quella di lavoro in 30°/40° con ΔMare/Laguna=20cm [Nm ³ /h]	23516
Perdite di carico [bar] (max- ultima paratoia)	0,37
Contropressione statica [bar a]	1,23
Pressione richiesta [bar (a)]	1,60
Fase 3	
Portata di aria per mantenere la posizione di lavoro con ΔMare/Laguna che aumenta da 1.6m a 2.0m (gradiente di marea di 0,4m/h) [Nm ³ /h]	11723
Perdita di carico circuito[bar] (max ultima paratoia)	0,24
Contropressione statica [bar (a)]	1,83
Pressione richiesta [bar (a)]	2,06
Conclusioni: la fase dominante per la pressione è la 1. Si assumono pertanto	
Portata nominale di 3 compressori [Nm ³ /h]	18000
Portata nominale di 4 compressori [Nm ³ /h]	24000
Pressione massima richiesta [bar (a)] (*)	3,64
Portata unitaria compressori [Nm ³ /h]	6000
Pressione di mandata selezionata (comprensiva dei margini di progetto per permettere il corretto funzionamento della valvola di controllo) [bar (a)]	4.0

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 26
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

(*) DP valvola controllo esclusa. Se la valvola di controllo selezionata non sarà a passaggio pieno, le perdite di carico per imbocco/ sbocco sulla stessa non dovranno superare 0.14 bar.

6.1.3. Analisi perdite di carico e curve caratteristiche del sistema tubazioni adduzione aria

Nel seguito è indicato il dettaglio del calcolo delle perdite di carico dei circuiti aria di sollevamento paratoie il cui valore massimo è stato assunto per la determinazione della pressione di progetto dei compressori di cui al punto precedente.

Le perdite di carico nelle linee sono state calcolate con il programma di calcolo "Tlines" che si basa sulla equazione di Darcy e sul fattore di attrito ricavato dal grafico di Moody.

Allo scopo di determinare la perdita di carico localizzata nelle valvole di controllo in servizio alle singole paratoie per finalizzare la selezione dei compressori, viene presentata, in termini analitici, l'espressione delle curve caratteristiche dei vari sistemi di adduzione aria alla Bocca di Malamocco nelle loro diverse condizioni di esercizio.

Esse esprimono nelle varie fasi la pressione che sarebbe richiesta ai compressori al variare della portata di aria erogata alle paratoie; il termine noto, indipendente dalla portata, rappresenta la contropressione statica, in bar (a), da superare nelle varie fasi operative.

Indicando con P la pressione totale richiesta, espressa in bar (a), e con W la portata di aria espressa in Nm³/h nelle varie fasi, con riferimento agli schemi tubazioni della Figura. , si sono ottenute le seguenti espressioni :

Barriera di Malamocco

in fase di decollo

$$P = 2.67 + 2.60 \cdot 10^{-9} W^2$$

in fase di raggiungimento angolo di lavoro

$$P = 2.01 + 1.28 \cdot 10^{-9} W^2$$

in fase di inseguimento marea (Δ Mare/Laguna che aumenta da 1.6m a 2.0m)

$$P = 1.32 + 1.28 \cdot 10^{-9} W^2$$

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 27
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

Essendo le perdite di carico e i battenti statici da vincere diversi nelle varie fasi di sollevamento delle paratoie e tra una paratoia e l'altra, la pressione nei collettori di adduzione aria alle paratoie, verrà assicurata dalle perdite di carico che saranno assorbite dalle valvole di controllo in servizio alle rispettive paratoie.

6.1.4. Analisi delle perdite di carico del circuito di espulsione aria in fase di abbattimento paratoie

La fase di abbattimento delle paratoie e la relativa sequenza operativa ha inizio quando il dislivello fra mare e laguna è inferiore od uguale a 10 cm e viene autorizzata dalla Stazione Centralizzata all'Arsenale.

Nei documenti di riferimento che individuano i volumi e le pressioni corrispondenti alle fasi di discesa delle paratoie, sono descritte le modalità operative di espulsione dell'aria nella fase di ritorno a recesso.

I dati evidenziano una posizione di minimo galleggiamento delle paratoie. E' stato calcolato il tempo necessario per l'espulsione dell'aria per portare le paratoie dalla posizione di lavoro a quella di emersione e poi a quella intermedia di minimo galleggiamento. Infine il tempo necessario per portare la paratoia dal minimo galleggiamento alla posizione finale di recesso.

Nella fase di abbattimento delle paratoie, esse vengono portate contemporaneamente, tutte e 19, dalla posizione di lavoro a quella corrispondente all'angolo di emersione (fase A) agendo su due sole valvole di scarico aria per paratoia; raggiunto tale angolo, la sequenza operativa per portare le paratoie a recesso si sviluppa attraverso le seguenti azioni:

- abbassamento delle paratoie per gruppi di 4 per raggiungere l'angolo di minimo galleggiamento (fase B); vengono utilizzate sempre due valvole di scarico per paratoia, che tuttavia chiudono progressivamente a partire da un angolo che per le paratoie di Malamocco è di 40°26'. L'obiettivo è quello di limitare la velocità del movimento, lasciando alla fine una sola valvola aperta per paratoia;
- inizio della discesa irreversibile delle paratoie; è una fase (fase C) che può avvenire anche senza arresto delle paratoie all'angolo di minimo galleggiamento (30°36' per Malamocco). In presenza di un incremento della velocità di caduta e comunque di un angolo inferiore a quello di galleggiamento, anche l'ultima valvola viene chiusa all'85% per ridurre ulteriormente la velocità di discesa;
- chiusura valvole espulsione aria;
- abbassamento finale fino alla posizione di recesso con valvole chiuse e attenuazione dell'impatto tramite gli ammortizzatori;

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	El. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 28
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

- permanenza delle paratoie in posizione di recesso per alcuni minuti, fino a separazione netta tra le fasi acqua/aria;
- apertura di due valvole per l'espulsione dell'aria residua e chiusura successiva delle stesse a completamento dell'operazione.

Per il calcolo delle perdite di carico in queste fasi e quindi per il dimensionamento delle valvole di espulsione, si sono considerati:

- i volumi di aria all'interno della paratoia nelle varie condizioni sopra specificate;
- una condizione mare/laguna di equilivello;
- un livello medio del mare di 0.65 m s.l.m.m. (anche con livelli diversi i tempi non si discostano dai valori calcolati);
- le paratoie sono sempre state ipotizzate sporche nella misura che prevede un incremento di aria contenuta/accumulata pari al 7% rispetto allo stato di paratoia pulita;
- il differenziale di pressione disponibile in fase di abbattimento è stato considerato pari alla differenza tra la pressione dell'aria all'interno della paratoia, mediata tra i due valori relativi alle fasi di lavoro prese in esame A e C, e la pressione atmosferica presente nella galleria di raccolta drenaggi. E' stata effettuata una ulteriore verifica, prendendo in esame le condizioni di lavoro intermedie tra le due fasi estreme con variazioni dell'angolo di inclinazione di un grado. Le conclusioni di entrambi i criteri di valutazione sono risultate tra loro comparabili.
- sono state previste valvole con perdita di carico trascurabile, del tipo a passaggio pieno (line-size), che escludono eventuali intasamenti;
- tutte le valutazioni ed i calcoli sono stati riferiti all'assetto di marcia normale, con operative le valvole di espulsione aria specificate nel seguito per ciascuna fase;
- diametro delle linee di espulsione acqua/aria: 6".

6.1.5. Tempi di abbassamento paratoie

Nella valutazione dei tempi di abbassamento, la fase che porta le paratoie dalla posizione di lavoro all'angolo di emersione, fase A, non viene considerata nei tempi di abbassamento in quanto la barriera, con le paratoie in tale assetto, rimane comunque chiusa; tuttavia, per completezza di informazione anche questi tempi sono stati evidenziati.

I tempi di attuazione delle diverse fasi operative sono stati calcolati avvalendosi delle caratteristiche di ciascun sistema e della portata oraria ottenuta usando l'espressione:

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 29
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

$$Q = \sqrt{DP/K}$$

Con tale portata ed il volume di aria da espellere, il tempo delle diverse fasi si determina con la relazione:

$$T = \text{DeltaV}/Q$$

dove :

- DP = pressione differenziale disponibile per l'espulsione dell'aria espressa in bar (a);
- DeltaV = variazione di volume di aria all'interno della paratoia tra inizio e fine fase di abbattimento espressa in Nm³/h;
- Q = portata oraria di aria espressa in Nm³/h;
- K = costante specifica del diametro e della configurazione delle tubazioni di espulsione dell'aria dalla paratoia; del tutto simile per ogni paratoia = 2.69 x 10⁻⁸.

Le tabelle sottostanti riportano i tempi delle diverse fasi di abbattimento.

Fase A) Abbassamento contemporaneo di tutte le paratoie dalla posizione di lavoro a quella di emersione con 2 valvole aperte per paratoia

BARRIERA DI MALAMOCCO	
	19 paratoie
Angolo di lavoro	45°00'
Angolo di emersione	40°26'
DP disponibile per espulsione aria	0.155 bar
Δ Quantità aria da espellere Nm ³	702-522=180
K linee di espulsione	2.69*10 ⁻⁸
Portata x valvola	2601 Nm ³ /h
Tempo richiesto (Arrotondato)	2' e 05"

Fase B) Abbassamento per gruppi di paratoie dalla posizione di emersione a quella di minimo galleggiamento con 2 valvole inizialmente aperte per paratoia

BARRIERA DI MALAMOCCO	
	19 paratoie (4 per gruppo)
Angolo emersione	40°26'
Angolo di minimo Galleggiamento	30°36'
DP disponibile per espulsione aria	0.226 bar
K di espulsione	2.69*10 ⁻⁸
Portata x valvola	2898 Nm ³ /h
Δ quantità aria Nm ³	522-214 = 308
Tempo richiesto	3'18" x gruppo

Fase C) Abbassamento paratoie per gruppi dalla posizione di minimo galleggiamento al recesso con 1 valvola aperta per paratoia

Il tempo reale di attuazione di questa fase non è correlabile solo all'espulsione dell'aria residua, ma dovrebbe includere anche il tempo di caduta delle paratoie, qui non evidenziato, caduta che avviene quando il peso proprio della paratoia ha superato la spinta di galleggiamento (più la paratoia affonda e più diminuisce la spinta di galleggiamento).

La valutazione più oltre riportata ha solo lo scopo di stimare i tempi di espulsione dell'aria residua a recesso raggiunto, nell'ipotesi di tenere aperte tutte le valvole di scarico. In realtà, durante la discesa finale delle paratoie tutte le valvole tranne una saranno progressivamente chiuse per limitarne la velocità di caduta. In presenza di

un ulteriore e irreversibile incremento della rapidità di discesa anche l'ultima valvola verrà progressivamente chiusa e l'espulsione completa dell'aria potrà avvenire solo in una fase successiva, a recesso raggiunto.

BARRIERA DI MALAMOCCO	
	19 paratoie (4 per gruppo)
Angolo di minimo galleggiamento	30°36'
Angolo al Recesso	0°
DP disponibile	0.862 bar
Δ Quantità aria Nm ³ da espellere	214
K linee di espulsione	2.69*10 ⁻⁸
Portata x valvola (x1)	5661 Nm ³ /h
Tempo richiesto	2'16" x gruppo

Riassumendo, i tempi necessari per l'abbattimento delle paratoie per gruppi, procedendo in sequenza progressiva, da quelli di centro barriera verso gli estremi, risultano i seguenti:

BARRIERA DI MALAMOCCO	
	19 paratoie
Fase A	2'05"
Fase B	2'18" x 5 gruppi = 11'10"
Fase C	2'16" x 5 gruppi = 11'20"
Tempo totale senza Fase A (*)	22'30"

(*)Tempo totale (solo Fasi B + C) = n° 5 gruppi x tempo fase B + n° 5 gruppi x tempo fase C

6.1.6. Verifica per tranciatura flessibili

Allo scopo di accertare l'idoneità degli impianti pneumatici ad assicurare il servizio richiesto anche in situazioni di esercizio anomale, si è valutata la perdita di aria che potrebbe verificarsi a seguito di una eventuale rottura dei tre flessibili in servizio su un connettore delle paratoie. La procedura di calcolo adottata è di seguito illustrata.

Durante la movimentazione delle paratoie, qualunque sia la fase operativa esercitata, la portata destinata al singolo connettore è controllata attraverso la valvola di regolazione ubicata a monte dei flessibili.

L'ipotesi peggiore di rottura dei flessibili è quella che si registra, ipotizzando la disponibilità di un solo collettore, durante la prima fase di sollevamento della barriera dal recesso all'emersione, quando la portata complessiva è ripartita su un limitato numero di paratoie: 4; nelle valutazioni che seguono è stata fatta l'ipotesi

	Rev. C0	Data: 04/06/2012	EI. MV100P-PE-MRR-0001-02A	Pag. n. 32
			IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

di quattro paratoie in emersione e quindi di otto connettori alimentati dal circuito d'aria.

Con riferimento agli schemi della figura 2 che illustra lo sviluppo del circuito pneumatico, i tratti finali dello stesso, denominati 7-6 e 5-6 attengono proprio alle connessioni flessibili ed al tubo di adduzione aria all'interno della paratoia.

In tale assetto, la tranciatura di tre flessibili di collegamento ad un connettore determina l'afflusso di aria nei soli sette connettori integri, tutti provvisti dei tratti di percorso citati in precedenza; quello tranciato ne sarà invece privo e non avrà perdite di carico.

Per determinare la portata che affluisce ai connettori integri ed a quello con i flessibili tranciati, si sono impostate due equazioni di bilancio con tali incognite; la prima espressione impone l'uguaglianza delle pressioni tra i singoli stacchi ai connettori mentre la seconda traduce semplicemente un bilancio sulle portate.

$$\begin{aligned} \Delta p_{tr} &= K_{tr} W_{tr}^2 & \Delta p_i &= K_i W_i^2 \\ \Delta p_i &= \Delta p_{tr} & W_T &= (\sum W_i + W_{tr}) \end{aligned}$$

dove:

- Δp_{tr} = perdita di carico circuito connettore con flessibili tranciati;
- Δp_i = perdita di carico circuito connettore i-esimo integro;
- W_{tr} = portata aria persa attraverso i tre flessibili tranciati;
- W_i = portata ad ogni singolo connettore integro;
- W_T = portata complessiva;
- K_{tr} e K_i = costanti dimensionali dei due distinti circuiti.

Tale impostazione per la barriera di Malamocco permette di ottenere i seguenti risultati

Bocca di Malamocco

W_T = portata complessiva = 21224 Nm³/h

W_i = portata ad ognuno dei sette connettori integri = 2652 Nm³/h

W_{tr} = portata a flessibili tranciati = 3032 Nm³/h

Come si evince dalla verifica effettuata la perdita di aria conseguente alla rottura dei flessibili è limitata; ciò è facilmente comprensibile tenuto conto del modesto contributo dei tratti terminali alle perdite di carico complessive. Tale perdita è largamente compensata dalla maggiorazione del 15% effettuata sulle portate di progetto dell'aria destinata alle paratoie.

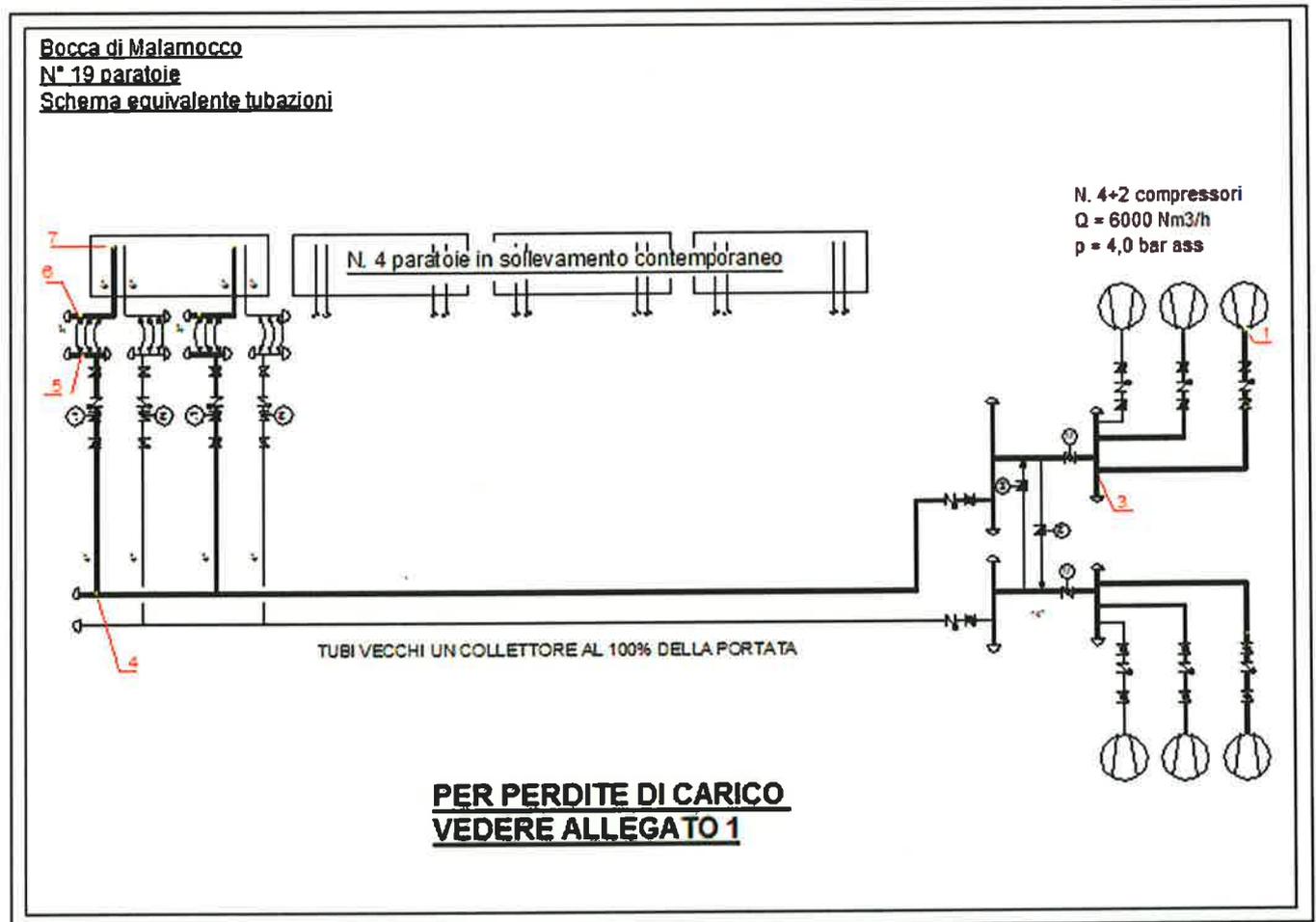


FIGURA. 2 –BARRIERA DI MALAMOCCO – SCHEMA EQUIVALENTE TUBAZIONI

	Rev. B0	Data: 30/03/09	Ei.	MV100P-PE-MRR-0001	Pag. n. 34
	Rev.	Data:		IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

7. ALLEGATO 1

CALCOLO COMPUTERIZZATO DELLE PERDITE DI CALCOLO

PROJECT: MOSE
LOCATION: Malamocco
CASE: Aria processo

INPUT

Line Number	6"	14"	14"	14"	4"	3"	6"
Case.	1	2	3	4	4	5	6
from	1Compress.	3Compress	4Compress.	Collettore	Collettore	Flessibili	Tubi in para- toia
to	Manifold	Collettore	Collettore	Paratoia	Paratoia	Paratoia	toia
Nominal or Internal diameter (N/I)	I	I	I	I	I	I	I
Diameter	6,358 [in]	13,623	13,623	4,38	2,95	2,95	6,358
Schedule (X for Standard)							
Pipe roughness (X to default)	9,84E-03 [in]	9,84E-03	9,84E-03	9,84E-03	9,84E-03	9,84E-03	9,84E-03
Phase (L, G, or M)	G	G	G	G	G	G	G
Ga Flowrate	6000 [Nm ³ /h]	18000	24000	3000	1200	3000	3000
Gas Flowrate	7763,04 [kg/h]	23289,12	31052,1	3881,52	1552,6	3881,52	3881,52
Temperature	20 [°C]	20	20	20	20	20	20
Pressure	3,5 [barg]	3,4	3,4	2,9	2,7	2,7	2,7
Molecular Weight	29	29	29	29	29	29	29
Liquid Density							
Gas Density (X to calculate)	X	X	X	X	X	X	X
Cp/Cv (X to default 1)	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406
Gas Compressibility Factor Z (X to default 1)	1	1	1	1	1	1	1
Gas Visc. (X to default 0.025)	0,019 [Cp]	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Liquid / Mixed Phase Viscosity							
Liquid Surface Tension							

	Rev. B0	Data: 30/03/09	El.	MV100P-PE-MRR-0001	Pag. n. 35
	Rev.	Data:		IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

CALCOLO COMPUTERIZZATO DELLE PERDITE DI CALCOLO

PROJECT: MOSE
LOCATION: Malamocco
CASE: Aria processo

INPUT

FORMAL PIPE DATA ANALYSIS	DIAM. OK SCHED. OK					
Physical Length [m]	20	40	650	20	2	15
Delta Elevation [m]	0	0	0	0	0	0
# of 45° Standard Elbows (L/D=16)	0	0	0	0	0	0
# of 90° Standard Elbows (L/D=30)	4	2	94	8	0	2
# of 90° Long Radius Elbows (L/D=16)	0				0	0
# of Tees: thru flow (L/D=20)	0		0	0	0	0
# of Tees: branch flow (L/D=60)	1	1	1	1	2	0
# of Valves - Check (L/D=100)	0	0	1	1	0	0
# of Valves - Butterfly (L/D=8)	1	0	1	2	0	0
Sudden Enlarg. Nom. Diam. [in]	0	0		0	0	0
Sudden Contr. Nom. Diam. [in]	0	0	0	0	0	0
Pipe Sharp Edged Entrance (K=0.5)	0	0	0	0	0	0
Pipe Exit (K=1)	0	0	0	0	0	0
Sum of other Equiv. Lengths (L/D)	0	0	0	0	0	0
Sum of other K's	0	0	0	0	0	0
Sum of other Pressure Drops [bar]	0	0	0	0	0	0

OUTPUT

	Fully Turb.					
Flow Characteristic						
Equivalent Length [m]	40	69	1369	51	8	22
Equivalent Length [ft]	133	226	4493	166	26	71
Total K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mixed Phase Density [kg/m ³]	-	-	-	-	-	-
Gas Density [kg/m ³]	5,370	5,298	5,275	4,596	4,418	4,382



Rev. B0

Data: 30/03/09

EI.

MV100P-PE-MRR-0001

Pag. n. 36

Rev.

Data:

IMPIANTI PNEUMATICI
RELAZIONE TECNICA

CALCOLO COMPUTERIZZATO DELLE PERDITE DI CALCOLO

PROJECT: MOSE

LOCATION: Malamocco

CASE: Aria processo

INPUT

Gas Viscosity	[Cp]	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
k (=Cp/Cv)		1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406
Z		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Sonic Velocity	[m/s]	343,8	343,8	343,8	343,8	343,8	343,8	343,8	343,8
Mach number		0,057	0,038	0,051	0,070	0,064	0,064	0,035	0,035
Maximum Allowable Velocity	[m/s]	52,6	53,0	53,1	56,9	58,0	58,0	58,3	58,3
Minimum Velocity (two phase)	[m/s]	-	-	-	-	-	-	-	-
Velocity	[m/s]	19,60	12,98	17,39	24,13	22,14	22,14	12,01	12,01
Frictional Pressure Drop per length	[psi/100ft]	0,62	0,10	0,19	1,29	1,72	1,72	0,19	0,19
Frictional Pressure Drop per length	[bar/100m]	0,14	0,02	0,04	0,29	0,39	0,39	0,04	0,04
Total Frictional Pressure Drop	[bar]	0,06	0,02	0,02	0,15	0,03	0,03	0,01	0,01
Total Pressure Drop (including Static Head)	[bar]	0,06	0,02	0,02	0,15	0,03	0,03	0,01	0,01

	Rev. B0	Data: 30/03/09	El. MV100P-PE-MRR-0001	Pag. n. 37
	Rev.	Data:	IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

8. ALLEGATO 2

Valvole immissione aria paratoie (totale attraverso le 2 valvole) – Malamocco N.19 paratoie

Caso	Condizione	Portata aria Nm ³ /h	Temperatura (°C)	Pressione mandata	ΔP linea	Pressione
	Paratoia sporca 7%	Totale per paratoia	°C	Bar (a)(*)		A monte valvola Bar (a)
Prima paratoia	fase decollo (**)	5434,0	30	4,0	0,25	3,75 2,66
	fase sollevamento	1238,0	30	4,0	0,12	3,88 1,23
	inseguimento marea	617,0 max	30	4,0	0,08	3,92 1,83
Ultima paratoia	fase decollo	5434,0	30	4,0	0,80	3,20 2,66
	fase sollevamento	1238,0	30	4,0	0,37	3,63 1,23
	inseguimento marea	617,0 max	30	4,0	0,23	3,77 1,83

(*) Pmax compressore da assicurare in tutte le fasi operative delle paratoie

(**) N.4 paratoie per gruppo

(***) se la valvola di controllo selezionata non sarà a passaggio pieno, le perdite di carico di imbocco/ sbocco alla stessa non dovranno superare 0.14 bar

	Rev. B0	Data: 30/03/09	EI. MV100P-PE-MRR-0001	Pag. n. 38
	Rev.	Data:	IMPIANTI PNEUMATICI RELAZIONE TECNICA	

9. ALLEGATO 3

Valvole immissione aria paratoie (totale attraverso le 4 valvole) –Malamocco N. 19 paratoie

Caso	Condizione	Portata aria Nm ³ /h totale per paratoia	Temperatura (°C)	Pressione mandata compress. Bar (a)(*)	ΔP linea bar	Pressione	
						monte valvo- la	valle valvo- la
Prima paratoia	fase decollo (**)	5434,0	30	4,0	0,23	3,77	2,66
	fase sollevamento	1238,0	30	4,0	0,11	3,89	1,23
	inseguimento marea	617,0 max	30	4,0	0,07	3,93	1,83
Ultima paratoia	fase decollo (***)	5434,0	30	4,0	0,70	3,30	2,66
	fase sollevamento	1238,0	30	4,0	0,32	3,68	1,23
	inseguimento marea	617,0 max	30	4,0	0,20	3,80	1,83

(*) Pmax compressore da assicurare in tutte le fasi operative delle paratoie

(**) N.4 paratoie per gruppo

(***) se la valvola di controllo selezionata non sarà a passaggio pieno, le perdite di carico di imbocco/ sbocco alla stessa non dovranno superare 0.14 bar