

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA

Classe: L-9

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA
In
COMPORAMENTO MECCANICO DEI MATERIALI

"Piattaforma off-shore:
progettazione delle procedure di movement e lifting
relative al lower level deck section 1 e section 2"

CANDIDATO
Giacomo Gridelli

RELATORE
Prof. Ing. Vincenzo Dal Re

CORRELATORI
Ing. Gianni Foschini
Ing. Nicola Mazzavillani
Ing. Gianni Sacchetti
Ing. Francesco Ceroni
Ing. Claudio Antonellini

Anno accademico 2011/2012
Sessione II

*Il compenso per una vita
condotta in rettitudine,
é la rettitudine stessa.*

Io.

Ringraziamenti

Vengono di seguito elencate persone ed entità che hanno contribuito allo svolgimento di questa tesi.

Alma mater studiorum

Ringrazio tutto il personale della facoltà e tutti i professori associati, professori ordinari, ricercatori ed assistenti che, grazie alle grandi difficoltà intellettive a cui mi hanno sottoposto nei loro corsi, mi hanno permesso di accrescere notevolmente le mie conoscenze.

Prof. Ing. Vincenzo Dal Re

Un ringraziamento particolare per essersi reso disponibile come relatore per la presente tesi, per avermi dato la possibilità di svolgere le tematiche desiderate e soprattutto per aver fornito supporto e consigli alle mie necessità.

Rosetti Marino S.p.A.

Ringrazio la società in oggetto e tutto il personale per avermi concesso di redarre la mia tesi sulle problematiche riguardanti l'industria offshore.

Human Resources Department

Un ringraziamento particolare ad Alessandra Zamparini per la gentilezza dimostrata e per avermi valutato con disponibilità ed onestà.

Method Engineering Department

Un ringraziamento particolare a Ing. Gianni Foschini, Ing. Nicola Mazavillani, Ing. Gianni Sacchetti, Ing. Francesco Ceroni, Ing. Claudio Antonellini, Ing. Massimo Carnazza, i tecnici Davide Casadio, Omar Succi e Mirco Rossi che, avendo condiviso con me le proprie competenze in materia, hanno incrementato notevolmente le mie conoscenze.

I miei famigliari

Ringrazio tutti i membri della mia famiglia ed in particolare Severi Severina, Geom. Gridelli Giuliano e Geom. Gridelli Chiara per avermi supportato economicamente nel raggiungimento di questo traguardo e per aver inevitabilmente condiviso con me la tensione degli studi.

Severi Zelio - Nonno

Un ringraziamento particolare lo dedico a mio nonno deceduto che, nonostante non avesse le conoscenze per comprendere il significato delle mie fatiche, era colui che piú di tutti apprezzava ciò che facevo.

Di seguito elencate tutte le persone che, avendo avuto la fortuna di conoscere, mi hanno reso una persona migliore:

Brighi Andrea - Bigu (con un 1B di ritardo)

Compagno di corso all'università, competente ed appassionato tecnico audio. Innumerevoli sono i motivi per cui ringrazio, anche se i migliori non é garbato citarli su questo foglio. Ringrazio per aver condiviso con me le mondane e spensierate estati migliori della mia vita, ma ancora di piú per essere un amico degno di tale appellativo.

Barbieri Davide - Daiv (...Daiv cade in piedi: "oh?")

Compagno di corso all'università e prossimo ingegnere, compagno di studi, persona di grandissima e rara intelligenza. Ringrazio per aver condiviso con me questi anni di studio, ma soprattutto per poterti considerare un amico.

Bertozzi Giacomo - Jack (quello piccolo)

Compagno di corso all'università, prestante e disciplinato atleta. Ringrazio per avermi trasmesso gli inestimabili valori della disciplina fisica e dell'abnegazione e per condividere con me un quotidiano allenamento fisico di quattro ore.

Con un unico ed ultimo appello voglio ringraziare tutti coloro che, tentando di ferirmi od ostacolarli, mi hanno reso una persona piú forte.

Grazie a tutti
Giacomo Gridelli

Indice

1	Rosetti Marino S.p.A.	1
2	Documentazione di progetto	5
2.1	Project drawings e shop drawings	5
2.2	Lettura dei project drawings	6
2.3	Lettura di shop drawings	8
3	Studio di fattibilità	11
3.1	Suddivisione in section - Studi preliminari	11
3.2	Modellazione FEM	12
3.3	Calcolo dei dati	12
3.4	Progetto dei totem	12
3.5	Posizionamento dei totem	13
3.6	Realizzazione della section	13
3.7	Movement	14
3.8	Fire-proofing e Painting	14
3.9	Lifting	14
4	Modellazione FEM	17
4.1	Create a new model	17
4.2	Define coordinate systems	19
4.3	Define materials	21
4.4	Define frame sections	23
4.5	Insert points	24
4.6	Insert frames	26
4.6.1	Insert plates	28
4.7	Diagonali - Offset	29
4.8	Assign releases	32

4.9	Concentrated loads	43
5	Movement	47
5.1	Lower level deck section 1 - Arrangement	47
5.1.1	Ipotesi di posizionamento dei carrelli	49
5.1.2	Determinazione dei carichi sui carrelli	49
5.1.3	Verifica carrello semovente 150	50
5.1.4	Verifica carello semovente 600	50
5.1.5	Verifica strutturale	51
5.2	Lower level deck section 1 - Yard layout movement	53
5.3	Lower level deck section 2	54
6	Lifting	55
6.1	Generalit�	55
6.2	Attrezzatura per il sollevamento	57
6.3	Section 1 - Lifting	60
6.3.1	Ipotesi di posizionamento dei padeyes	60
6.3.2	Determinazione dei carichi sui padeyes	63
6.3.3	Scelta delle gru per il sollevamento	63
6.3.4	Progetto dei padeyes	66
6.3.5	Verifica del giunto saldato	69
6.3.6	Padeye type 1	69
6.3.7	Padeye type 2	71
6.3.8	Padeye type 3	73
7	Conclusioni	75
A	Yard layout	77
B	Upper grillages	79
C	Dettagli accoppiamenti	87
D	Project drawings	95
E	Shop drawings	109
F	Totem	119
G	Center of gravity section 1	121
H	Movement section 1	123
I	Lifting section 1	133
J	Center of gravity section 2	145

INDICE

ix

K Movement section 2

147

L Lifting section 2

157

Elenco delle figure

2.1	Project drawing detail	6
2.2	Shop drawing detail	8
4.1	First window	18
4.2	New model	18
4.3	Blank model	19
4.4	Coordinate/Grid Systems	19
4.5	Define Grid System Data empty	20
4.6	Define Grid System Data	21
4.7	Main window with auxiliary axes	22
4.8	Sections and materials	22
4.9	EN10225 material S420	23
4.10	Material Property Data empty	24
4.11	Material Property Data	25
4.12	Properties of Object point empty	25
4.13	Properties of Object point	26
4.14	Points	26
4.15	Properties of Object frame	27
4.16	Sap primary structure	27
4.17	Sap secondary structure	28
4.18	Plates and materials	29
4.19	EN10225 S355	29
4.20	Esempio di diagonale accoppiato alla trave	30
4.21	Esempio di diagonale accoppiato alla colonna	30
4.22	Set 2D View	31
4.23	Esempio di diagonale in sap	31
4.24	Frame Insertion Point empty	32
4.25	Frame Insertion Point	33

4.26	Notes	42
4.27	Assign frame releases empty	43
4.28	Assign frame releases	43
4.29	Linear density	44
4.30	WLN 04	45
4.31	Joint Forces empty	46
4.32	Joint Forces	46
5.1	Carrello semovente 150	48
5.2	Carrello semovente 600	48
5.3	Trailers loads	49
5.4	Carico uniformemente distribuito	50
5.5	Carico su traverse esterne	51
5.6	Carico su traverse interne	51
5.7	Carico in centro schema	51
5.8	Area limite	51
5.9	SAP plan view	52
6.1	Slings or grommets configurations	56
6.2	Lifting elements example	59
6.3	Good arrangement example	60
6.4	Bad arrangement example	61
6.5	Padeyes positions scheme	62
6.6	Padeyes positions	63
6.7	Arrangement detail	64
6.8	LR 1750 table detail	65
6.9	Vertical lifting padeye example	66
6.10	v lifting padeye example	67
6.11	Main padeyes factors	68
6.12	Padeye type 1	70
6.13	Padeye type 2	71
6.14	Padeye type 3	73
A.1	Yard layout - Plan view	78
B.1	Upper grillages - General arrangement	80
B.2	Upper grillage type 1 - Details	81
B.3	Upper grillage type 2 - Details	82
B.4	Upper grillage type 3 - Details	83
B.5	Upper grillage type 4 - Details	84
B.6	Upper grillage type 5 - Details	85
B.7	Upper grillage type 6 - Details	86
C.1	Beam typical connections	88
C.2	Beam detail connections 10 to 20, 22 to 24	89

C.3	Beam detail connections 25 to 31	90
C.4	Beam detail connections 32 to 37	91
C.5	Beam detail connections 38 to 44	92
C.6	Beam detail connections 45 to 53	93
C.7	Beam detail connections 54 to 58	94
D.1	ESDV level deck - Plan view - Primary structure	96
D.2	Lower level deck - Plan view - Primary structure	97
D.3	Mezzanine level deck - Plan view - Primary structure	98
D.4	Weather level deck - Plan view - Primary structure	99
D.5	ESDV level deck - Plan view - Secondary structure	100
D.6	Lower level deck - Plan view - Secondary structure	101
D.7	Mezzanine level deck - Plan view - Secondary structure	102
D.8	Weather level deck - Plan view - Secondary structure	103
D.9	ESDV level deck - Plan view - Flooring	104
D.10	Lower level deck - Plan view - Flooring	105
D.11	Mezzanine level deck - Plan view - Flooring	106
D.12	Weather level deck - Plan view - Flooring	107
E.1	ESDV level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure	110
E.2	Lower level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure	111
E.3	Mezzanine level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure	112
E.4	Weather level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure	113
E.5	ESDV level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure	114
E.6	Lower level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure	115
E.7	Mezzanine level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure	116
E.8	Weather level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure	117
F.1	Totem	120
G.1	Lower level deck section 1 - Center of gravity	122
H.1	Lower level deck section 1 - Yard movement	124
H.2	Lower level deck section 1 - Paint shop layout - plan view . .	125
H.3	Lower level deck section 1 - Paint shop layout - frontal view .	126
H.4	Lower level deck section 1 - General arrangement	127
H.5	3D view section 1	128
H.6	Reactions section 1	129
H.7	Analysis plan view section 1	130

H.8	Deformation section 1	131
I.1	Lower level deck section 1 - Padeyes	134
I.2	Lower level deck section 1 - Lifting movement	135
I.3	Lower level deck section 1 - Lifting arrangement	136
I.4	3D view lifting section 1	137
I.5	Reactions lifting section 1	138
I.6	Analysis plan view lifting section 1	139
I.7	Deformation lifting section 1	140
I.8	Padeye type 1 checking lifting section 1	141
I.9	Padeye type 2 checking lifting section 1	142
I.10	Padeye type 1 checking lifting section 3	143
J.1	Lower level deck section 2 - Center of gravity	146
K.1	Lower level deck section 2 - Paint shop layout - plan view . .	148
K.2	Lower level deck section 2 - Paint shop layout - frontal view .	149
K.3	Lower level deck section 2 - General arrangement	150
K.4	Lower level deck section 2 - Yard movement	151
K.5	3D view section 2	152
K.6	Reactions section 2	153
K.7	Analysis plan view section 2	154
K.8	Deformation section 2	155
L.1	Lower level deck section 2 - Padeyes	158
L.2	Lower level deck section 2 - Lifting movement	159
L.3	Lower level deck section 2 - Lifting arrangement	160

Sommario

Come da titolo, il lavoro svolto per la redazione della tesi ha come oggetto la progettazione delle procedure necessarie alla realizzazione di piattaforme off-shore. Una piattaforma off-shore é una grande e complessa struttura intelaiata di pilastri, diagonali, travi primarie e travi secondarie, progettata per insediarsi in ambiente marino ed idonea ad ospitare gli impianti per l'estrazione di idrocarburi.

La creazione di una piattaforma off-shore puó essere suddivisa in due grandi fasi:

- progettazione;
- realizzazione.

Durante la fase di progettazione si procede con l'ideare la struttura della piattaforma fino a definire le caratteristiche di ogni componente: tale fase ha come esito la redazione dei project drawings (disegni di progetto).

La fase di realizzazione é quella che interessa propriamente il lavoro svolto per la redazione di questa tesi: a seguito della progettazione infatti emergono nuove problematiche a livello applicativo e costruttivo che necessitano di essere studiate e risolte preventivamente alla costruzione fisica dell'opera. In particolar modo é necessario definire quali parti della struttura possono essere acquistate, in quanto elementi di formato commerciale, e quali invece devono essere realizzate su misura saldando lamiere di spessore adatto.

Definite le modalitá costruttive viene effettuato lo studio riguardante la movimentazione dei vari piani della piattaforma e successivamente le problematiche relative al sollevamento degli stessi. Le due procedure, che denominiamo rispettivamente movement e lifting, necessitano di raffinate valutazioni euristiche ed analitiche per garantire che la struttura non collassi: sebbene durante queste fasi la struttura sia esclusivamente soggetta al peso proprio, é necessario effettuare accurate verifiche strutturali poiché ci si trova in condizioni di fuori progetto, infatti la struttura é stata progettata per essere un telaio di piani saldati tra loro che si trasmettono le sollecitazioni attraverso pilastri e diagonali. Quando si realizza piano per piano, ci si trova a movimentare piani singoli, ovvero strutture aperte e non intelaiate, quindi meno resistenti.

CAPITOLO 1

Rosetti Marino S.p.A.

Marino Rosetti inizia la sua attività nel 1925 dedicandosi a lavori fabbrili, di carpenteria e caldareria ed alla costruzione di piccole cisterne. A partire dalla sua nascita, l'azienda ha diversificato le proprie attività:

- finita la seconda guerra mondiale partecipa alla ricostruzione dei depositi costieri del porto di Ravenna;
- nell'immediato dopoguerra (1947-1948), nel porto di Ravenna cresce notevolmente il traffico di navi e Rosetti inizia a fornire servizi di riparazione navale;
- nel periodo 1947-1958 esegue più di trenta trasformazioni di Liberty (navi a vapore della seconda guerra mondiale) da carbone ad olio pesante;
- a metà degli anni '50 vengono avviate nuove attività quali: la costruzione di natanti a motore e la costruzione di impianti di scarico ed immagazzinamento di cereali su progetto dei committenti;
- durante gli anni '60 inizia a costruire serbatoi di stoccaggio per l'industria petrolifera abbandonando questo settore a metà degli anni '70.

Tuttavia è a partire dagli anni '60 che inizia a definirsi il core business: la Agip avvia le prime attività di estrazione di gas nel Mare Adriatico di fronte a Ravenna e la Rosetti Marino si inserisce in questo contesto costruendo le prime strutture off-shore per la compagnia. Il business si consolida ulteriormente quando nella prima metà degli anni '80 la Agip inizia ad esercitare la

domanda di moduli off-shore completi di impianti meccanici per l'estrazione delle risorse.

Altre tappe fondamentali dello sviluppo aziendale sono:

- costituzione nel 1985 di un consorzio permanente con Bouygues Off-shore;
- l'acquisto di Basis Engineering all'inizio degli anni '90, società di ingegneria di Milano con esperienza nel settore Oil&Gas;
- la costituzione di Fores Engineering nel 1992, società che realizza sistemi di automazione e controllo;
- durante gli anni '90 la Rosetti é impegnata su commesse off-shore dell'Oil&Gas sempre piú impegnative, di conseguenza i precedenti contratti a misura od a forfait basati su progetto del committente, si trasformano in E.P.C. (Engineering Procurement Construction);
- dall'inizio degli anni '90 Rosetti riprende l'attività navale abbandonata negli anni sessanta costruendo imbarcazioni quali rimorchiatori d'altura, supply vessel e anchor handling;
- a metà degli anni '90 inizia a porre attenzione al miglioramento dei servizi interni, infatti viene installato un software E.R.P. (Enterprise Resource Planning) in grado di gestire e rapportare tutti i dati delle aziende del gruppo Rosetti;
- sempre a partire dalla metà degli anni '90 fino ad oggi, il core business della Rosetti risulta ben definito e focalizzato sulle strutture dell'off-shore Oil&Gas;
- l'ingresso nel mercato, nei primi anni 2000, del trattamento di gas, olio, acqua, microenergia e nel mercato degli impianti di generazione idrogeno.

Attualmente l'azienda, convertita in una società per azioni, é composta da un gruppo di imprese:



- Rosetti Marino S.p.A., società capogruppo fondata nel 1925;
- Basis Engineering s.r.l., rilevata all'inizio degli anni '90;
- Fores Engineering s.r.l., fondata nel 1992;

- Kazakhstan Caspian Off-shore Industries.

La Rosetti Marino S.p.A. possiede tre aree operative nel territorio di Ravenna.



Via Trieste 230: dirigenza, ufficio personale, officina prefabbricazione moduli, laboratorio diagnosi materiali e controlli non distruttivi;



Via del Marchesato (Piomboni Yard) 37: costruzione moduli off-shore, officine sabbatura, paintshop, officine meccaniche, aree di stoccaggio, uffici tecnici;



San Vitale Yard: costruzione navi e rimorchiatori.

CAPITOLO 2

Documentazione di progetto

I clienti della Rosetti preferiscono che non venga fatto riferimento alle proprie società, quindi, per onorare tale volontà, saranno intenzionalmente celate la denominazione sociale dei committenti, il nome proprio delle piattaforme, i codici dei project drawings ed i codici degli shop drawings. In alternativa verranno utilizzate nomenclature e codifiche puramente inventate.

La produzione di una piattaforma petrolifera inizia con la fase di progettazione. La Rosetti Marino S.p.A. possiede una quota di partecipazione di Tecon s.r.l., una società di Milano specializzata nel design di infrastrutture off-shore a cui viene delegato tale compito. Quando la progettazione è terminata risulta necessario disporre della documentazione tecnica per procedere con la produzione dell'opera.

2.1 Project drawings e shop drawings

La documentazione tecnica necessaria si suddivide in due diversi tipi di elaborati:

- project drawings, si tratta di disegni di progetto, generalmente redatti in formato digitale in ambiente autoCAD, che contengono le informazioni atte a definire e descrivere in modo univoco il tipo di struttura della piattaforma. Alcuni elaborati tipici di questa documentazione sono: piante della struttura primaria, piante della struttura secondaria, viste delle elevazioni, dettagli tecnici di particolari della struttura quali nodi o accoppiamenti tra travi. In Figura D.4 a pagina 103 è possibile osservare un esempio di project drawing relativo alla plan view delle secondary structure del weather level deck.

- shop drawings, disegni costruttivi che differiscono dai precedenti non per il contenuto, ma per il livello di dettaglio. Gli shop drawings contengono informazioni aggiuntive non presenti nei project drawings quali: tipologia dei giunti saldati, quote di dettagli non quotati precedentemente, tipi di trave, masse dei nodi. In Figura E.8 a pagina 117 è possibile osservare lo shop drawing relativo al medesimo level considerato nella descrizione dei project drawings: si nota facilmente come il numero delle informazioni contenute sia notevolmente superiore.

La redazione dei project drawings viene effettuata direttamente dalla Teccon, mentre per la compilazione degli shop drawings la Rosetti si avvale delle competenze di Imi Project, uno studio tecnico specializzato in impiantistica meccanica e carpenteria metallica con cui è stata stabilita una importante partnership aziendale a partire dal 1985.

2.2 Lettura dei project drawings

Per comprendere come interpretare tutte le annotazioni contenute in un project drawings prenderemo come esempio la plan view della primary structure del weather level deck di Figura D.4 a pagina 99 . Facendo riferimento al particolare di Figura 2.1 estratto da Figura D.4 si possono osservare le tipiche annotazioni presenti all'interno di un project drawing.

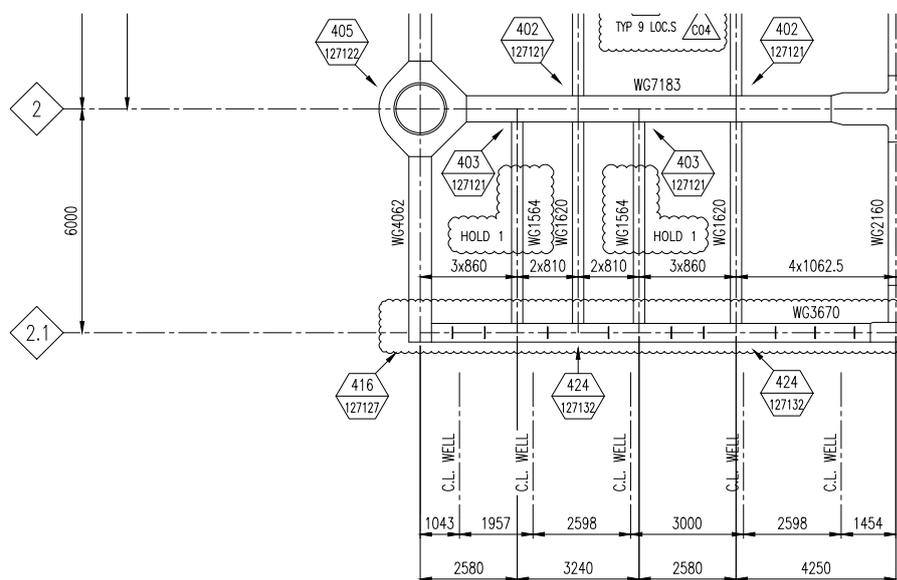
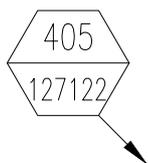


Figura 2.1: Project drawing detail

I tipi di annotazione che si trovano all'interno dei project drawings sono principalmente di quattro tipi:



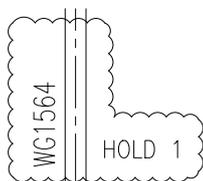
picchetto, riquadro contenente un numero che serve per indicizzare l'asse su cui viene posto. I picchetti sono presenti in ogni elaborato e sono utili per effettuare i corretti allineamenti tra le varie parti della struttura. Se si dispone della plan view della primary structure del lower level deck e della plan view della primary structure del mezzanine level deck è possibile sovrapporre gli assi che presentano la medesima picchettatura ottenendo l'effettivo allineamento verticale che i level avranno una volta realizzati ed eretti;



targa, il valore superiore rappresenta il numero progressivo assegnato al giunto, nodo, accoppiamento o intersezione a cui la targa si riferisce mentre il numero inferiore rappresenta il codice del disegno che deve essere consultato per poter ottenere i dettagli del particolare in oggetto;



trave, in corrispondenza di ogni trave ne viene indicata la tipologia;



nuvoletta, indica le parti della struttura che sono soggette a modifiche o revisioni in momenti successivi alla redazione del progetto.

2.3 Lettura di shop drawings

La lettura degli shop drawings avviene in modo del tutto analogo ai project drawings, le uniche differenze sono:

- livello di dettaglio;
- la simbologia delle targhe é sostituita da quella delle marks, ma la funzione svolta é la medesima.

Per comprendere come interpretare correttamente uno shop drawing prenderemo come esempio la plan view della primary structure del ESDV level deck di Figura E.1 a pagina 110 . Facendo riferimento al particolare di Figura 2.2 estratto da Figura E.1 si possono osservare le tipiche annotazioni presenti all'interno di uno shop drawing.

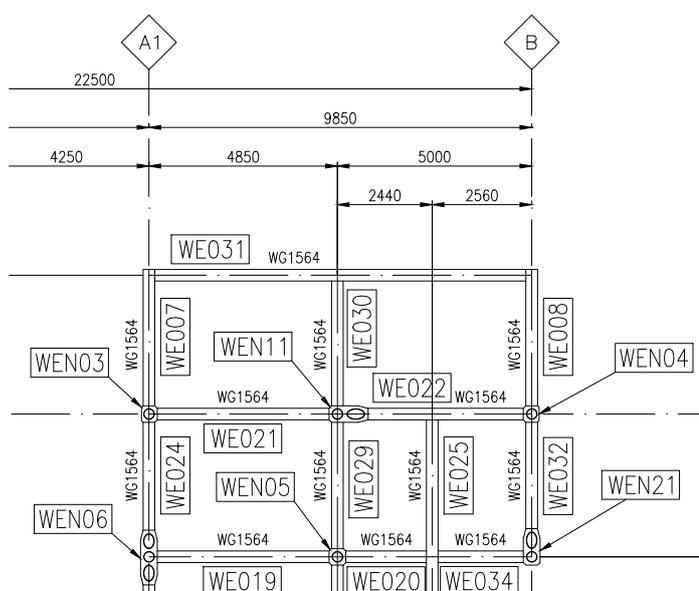
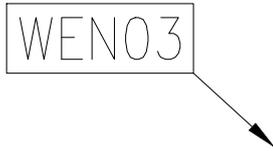


Figura 2.2: Shop drawing detail

Mentre di seguito é riportato l'esempio di come si presenta l'aspetto di una mark:



mark, riquadro contenente un codice alfanumerico al quale viene associato il codice dello shop drawing contenente il particolare in oggetto;

CAPITOLO 3

Studio di fattibilità

Nel capitolo in oggetto vengono schematizzati gli steps dello studio di fattibilità effettuato per la realizzazione del deck (la parte emersa) di una fixed off-shore platform. Il deck é composto da vari level (piani), ognuno dei quali viene suddiviso in section in modo da rendere fisicamente possibile il processo produttivo.

3.1 Suddivisione in section - Studi preliminari

La realizzazione dell'opera avviene in piú fasi distinte:

- reperimento del materiale;
- costruzione delle travi di formato non normalizzato;
- acquisto delle travi di formato normalizzato;
- assemblaggio di un level del deck;
- ripetizione dei punti precedenti per la realizzazione di ogni level.

Tuttavia alcuni level della struttura possono presentare caratteristiche geometriche, dimensionali e di massa troppo elevate per poter essere fisicamente movimentati, sollevati o contenuti all'interno delle officine, di conseguenza si rende necessaria una loro ulteriore suddivisione in sections, le quali vengono realizzate in modo indipendente e poi assemblate in una fase successiva. L'operazione di suddivisione in section merita una attenzione particolare poiché influenza notevolmente l'economicità dell'opera: un maggiore numero di sections implica un maggiore numero di procedure di movement

e lifting da progettare ed eseguire e di conseguenza un incremento dei costi di produzione.

Lo studio della suddivisione in section avviene nel modo seguente:

1. dai project drawings si estrae la pianta della struttura principale del level di cui si vuole pianificare la realizzazione;
2. considerando la pianta si ipotizzano, in base al criterio del buon senso, le row in corrispondenza delle quali potrebbe essere conveniente spezzare il level;
3. si effettuano degli studi preliminari di lifting e movement per ognuna delle due section in cui ogni row divide il level;
4. di tutte le row si scartano quelle che dividono il level in due section le cui procedure di movement e lifting non sono fisicamente eseguibili;
5. delle row rimanenti si sceglie quella che divide il level in section le cui procedure di movement e lifting risultano economicamente piú convenienti;
6. si ripetono ordinatamente i punti precedenti per tutti i level.

3.2 Modellazione FEM

Si estraggono dai project drawings e dagli shop drawings tutti i disegni necessari e si inseriscono le informazioni all'interno dell'ambiente di simulazione strutturale fino a completare il modello: la Rosetti Marino si avvale dell'ambiente SAP2000.

3.3 Calcolo dei dati

Lo scopo é determinare la massa e le coordinate del baricentro di ogni section necessari alla programmazione delle procedure successive. Questa fase puó essere svolta con l'ausilio di un software di modellazione strutturale: la Rosetti Marino si avvale dell'ambiente Tekla Structures.

3.4 Progetto dei totem

Il totem é un elemento strutturale temporaneo progettato per lavorare a puro sforzo assiale di compressione: é costituito da un profilo tubolare verticale sulle cui basi sono saldati piatti quadrati realizzati in lamiera. Lo scopo del totem é quello di essere accoppiato alla primary structure di un level per mezzo di un giunto saldato che coinvolge una delle sue due basi ed il bottom of steel delle travi: il risultato é quello di disporre di piedi sui

quali vengono posate le travi durante la costruzione. Facendo riferimento a Figura F.1 di pagina 120, durante la progettazione viene determinato il valore del carico massimo che la parte cilindrica può sopportare in condizioni di sicurezza e successivamente viene utilizzato tale carico per determinare l'area della lamiera di base in modo tale che questa eserciti sul terreno una pressione inferiore a $23 \frac{t}{m^2}$: il valore indicato è l'esito di ispezioni geologiche del terreno sottostante e rappresenta la massima pressione che può essere esercitata su di esso senza che avvengano cedimenti.

3.5 Posizionamento dei totem

In questa fase vengono scelti i punti in corrispondenza dei quali i totem saranno saldati alla struttura primaria della section considerata. La scelta avviene come segue:

1. scelta delle posizioni dei totem;
2. verifica della resistenza della struttura primaria appoggiata in corrispondenza dei totem;
3. determinazione delle porzioni di carico che si ripartiscono in corrispondenza delle posizioni dei totem;
4. verifica strutturale dei totem.

3.6 Realizzazione della section

L'effettiva costruzione di una section avviene all'interno del block fabrication workshop, ovvero il fabbricato n.2 la cui posizione si può individuare in Figura A.1 a pagina 78. La realizzazione della section avviene nelle seguenti fasi:

1. costruzione dei totem;
2. posa dei totem sul piano di costruzione;
3. costruzione delle travi principali;
4. posizionamento delle travi principali sui totem;
5. saldatura delle travi principali ai totem;
6. reperimento delle travi secondarie;
7. montaggio delle travi secondarie.

3.7 Movement

La procedura di movement consiste nel movimentare la section dall'officina in cui é stata assemblata fino all'officina in cui vengono eseguiti i trattamenti di fire-proofing e painting e successivamente da questa posizione fino in prossimitá dei grillage. Lo studio di fattibilitá relativo alla procedura di movement consiste in:

1. ipotesi di posizionamento dei carrelli di primo tentativo;
2. determinazione delle porzioni di carico che si ripartiscono su ogni carrello;
3. verifica delle condizioni d'uso dei trailers;
4. verifica strutturale della section per garantire che la struttura del level presenti, in ogni suo punto, una tensione inferiore a quella ammissibile: la verifica strutturale si rende necessaria poiché all'atto della movimentazione la section sará sollecitata in modo differente da quello per cui é stata progettata.

3.8 Fire-proofing e Painting

Il fire-proofing é un trattamento della superficie degli elementi strutturali volto ad incrementare notevolmente la resistenza alle alte temperature in caso di incendio. Il painting consiste nella fase di verniciatura. I trattamenti di fire-proofing e di painting vengono effettuati all'interno di uno dei capannoni di verniciatura disponibili nel cantiere e sono volti a ricoprire tutta la superficie della struttura fatta eccezione per le superfici che saranno coinvolte in saldature in opera.

3.9 Lifting

La procedura consiste nel sollevamento della section per riferirla e posizionarla sui grillage. Lo studio di fattibilitá di questa procedura consiste in:

1. determinazione del tipo di sling o grommet;
2. determinazione del tipo di shackle;
3. scelta dei punti di lifting: ovvero i punti in corrispondenza dei quali avviene l'attacco per effettuare il sollevamento;
4. determinazione delle porzioni di carico che si ripartiscono su ogni punto di lifting;

5. scelta delle gru e delle relative configurazioni in modo da garantire la sicurezza;
6. verifica strutturale della section;
7. dimensionamento dei padeyes;
8. verifica dei padeyes;
9. verifica dei giunti saldati tra padeyes e travi della section in oggetto.

La procedura di calcolo dei dati e le successive, devono essere ripetute per ogni section di ogni level di cui il deck é composto fino ad ottenere il deck completo e riferito sui grillage. Successivamente alla produzione del deck, inizierà la produzione del jacket ed al termine saranno effettuate le operazioni di load-out e trasporto in mare con l'ausilio di utility-barge: questa rappresenta l'ultima operazione di realizzazione dell'opera con la quale viene effettuata la consegna al committente.

CAPITOLO 4

Modellazione FEM

La modellazione finite element method in SAP2000 consiste nel costruire un modello della struttura della section all'interno di un ambiente software in grado di eseguire successivamente una simulazione strutturale. La struttura modellata costituisce tuttavia solo una approssimazione della struttura reale: il software consente di tracciare esclusivamente gli assi delle travi ai quali viene successivamente assegnata una sezione con un materiale. L'approssimazione nella modellazione strutturale é dovuta a due caratteristiche:

- il software non consente di modellare i nodi: questa mancanza viene aggirata inserendo dei carichi concentrati in corrispondenza dei nodi che non riescono ad essere modellati e modulo pari al peso proprio del nodo considerato;
- dettagli di accoppiamento tra travi primarie e travi secondarie: vengono inserite releases (vedi piú avanti).

Quando si apre per la prima volta SAP2000, la finestra che compare é quella di Figura 4.1:

Anche nel caso della modellazione, il procedimento puó essere suddiviso in steps che vengono elencati e descritti in questo capitolo.

4.1 Create a new model

La prima cosa da fare dopo aver aperto l'interfaccia grafica del software é creare un nuovo modello: partendo dalla Toolbar ed eseguendo le istruzioni File>New Model... si apre la finestra di Figura 4.2.

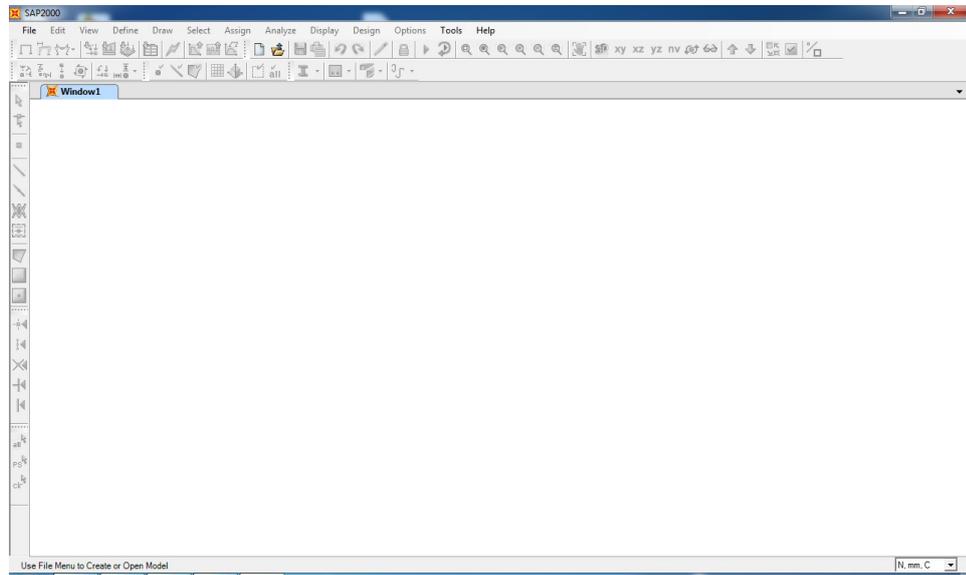


Figura 4.1: First window

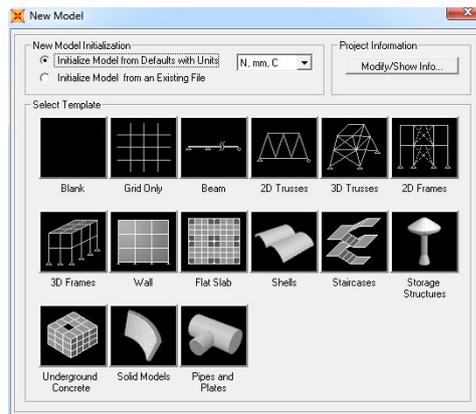


Figura 4.2: New model

Dopo aver impostato nel menu a tendina la terna di unità di misura che si desidera, si seleziona la voce Blank nel riquadro Select Template per aprire un modello vuoto.

4.2 Define coordinate systems

Eseguite le istruzioni precedenti ci si ritrova nella finestra di Figura 4.3.

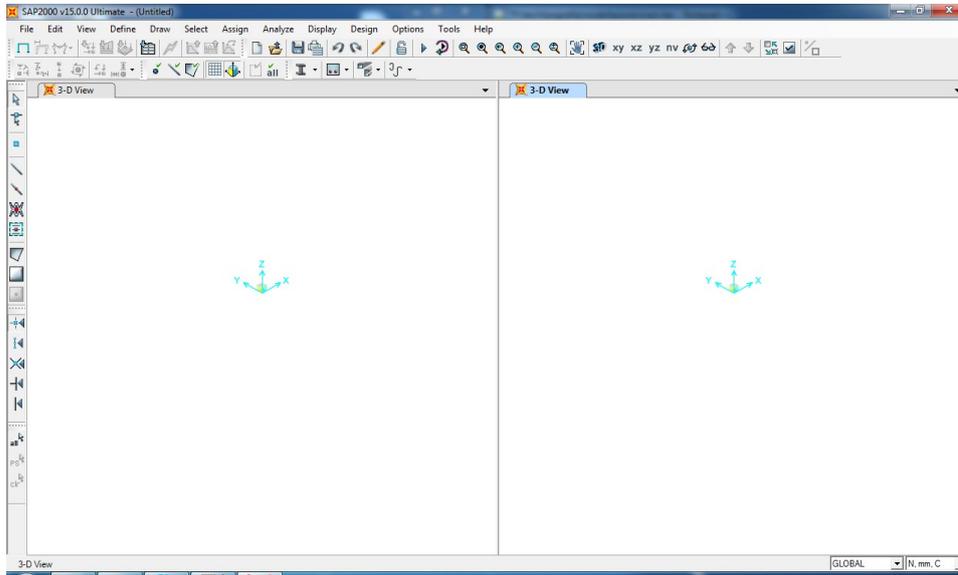


Figura 4.3: Blank model

Per definire un sistema di riferimento é necessario posizionarsi sulla Tool-bar ed eseguire le istruzioni Define>Coordinate Systems/Grid... ottenendo l'apertura della finestra di Figura 4.4

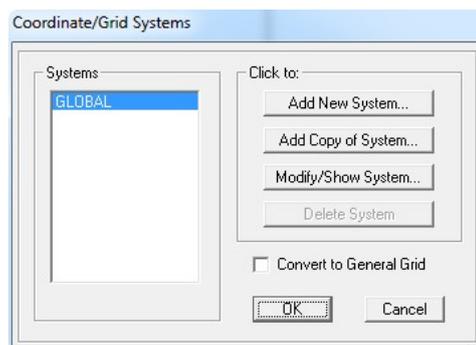


Figura 4.4: Coordinate/Grid Systems

In questa fase viene modificato il sistema di riferimento ed adattato per la creazione del modello. Premendo il Button Modify/Show System... si apre la finestra di Figura 4.5. La finestra ora aperta contiene tre tabelle simili a quelle del software Excel denominate rispettivamente X Grid Data, Y Grid Data, Z Grid Data. Riempendo opportunamente la riga di una tabella

si indica a SAP di aggiungere un asse ausiliario che sarà parallelo all'asse relativo alla tabella in oggetto e distante da questo un numero di unità pari al valore specificato nella cella della colonna denominata Ordinate.

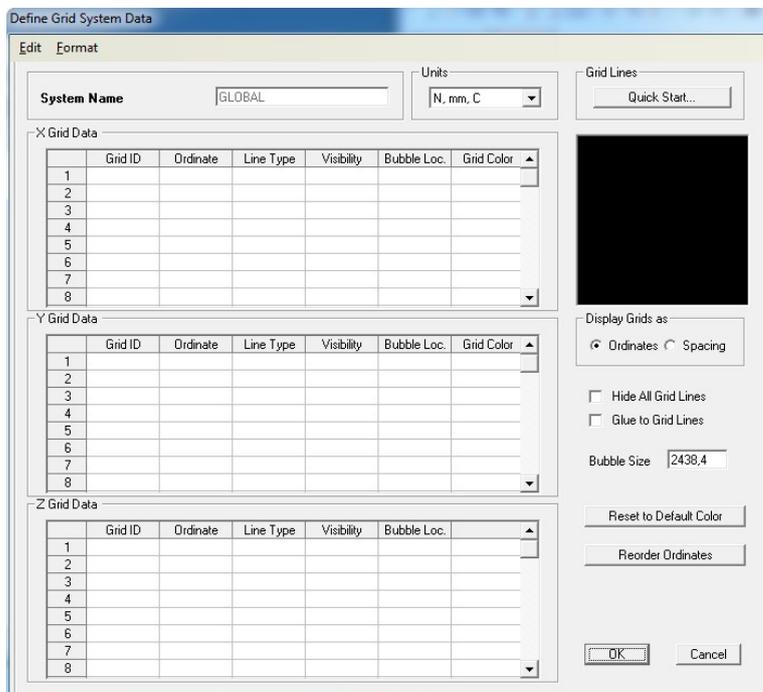


Figura 4.5: Define Grid System Data empty

Facendo riferimento a Figura D.2 di pagina 97, lo scopo è quello di riempire le tabelle in modo tale da inserire come assi ausiliari quelli che nei project drawings sono indicizzati dai picchetti. Nel caso particolare si sta cercando di modellare il lower level deck section 1 che va dalla column A alla column B (esclusi i nodi della row B, in quanto appartengono alla section 2). Facendo ora riferimento a Figura 4.6, è possibile osservare che nelle celle corrispondenti alla prima colonna, denominata Grid ID, sono stati specificati i nomi degli assi indicizzati dai picchetti, mentre nelle celle della seconda colonna sono state specificate le distanze: in questo caso si tratta di distanze in mm, infatti i valori corrispondono esattamente a quelli che possono essere letti nelle quote del project drawing. Per riempire i campi relativi alla terza tabella, è necessario fare riferimento ai seguenti project drawings.

- Figura D.1 di pagina 96,
- Figura D.2 di pagina 97,
- Figura D.3 di pagina 98,
- Figura D.4 di pagina 99,

In ciascun project drawings, sotto alla plan view, é presente una breve descrizione in cui compare anche il T.O.S. EL., abbreviazione di top of steel elevation, ovvero l'altezza in direzione verticale della parte superiore delle travi della struttura del level in oggetto: questi valori sono proprio quelli da inserire nella terza tabella. Viene di seguito riportato il risultato di quanto descritto:

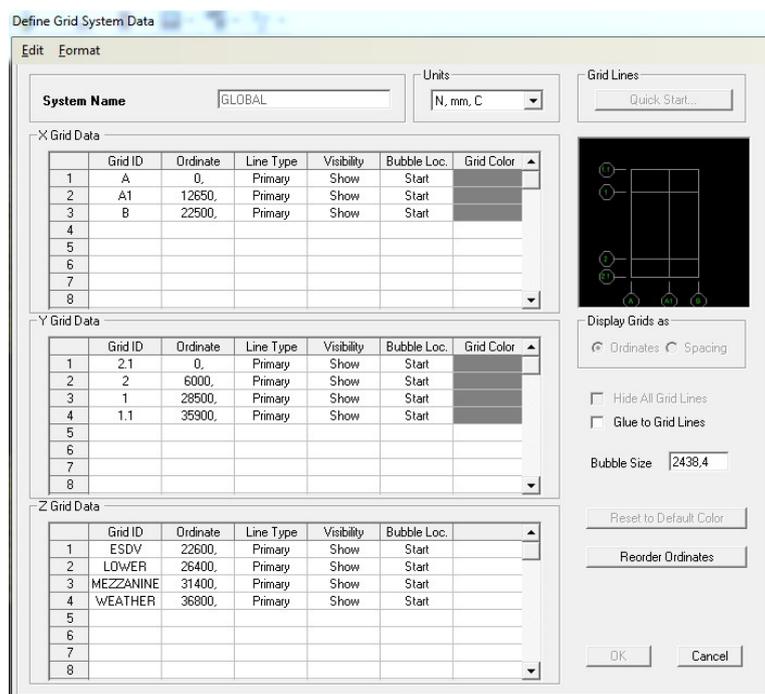


Figura 4.6: Define Grid System Data

Nella main window é stata aggiunta una maglia corrispondente ai dati inseriti: in Figura 4.7 si può osservare il risultato.

4.3 Define materials

Per definire i materiali é necessario sapere preventivamente quale é la normativa di riferimento per la scelta delle caratteristiche elastiche e resistenziali dei materiali stessi. In questo caso la normativa di riferimento é la [8] della bibliografia ed é stata stabilita contrattualmente con il cliente: detta normativa specifica che le caratteristiche dei materiali dipendono dalla geometria del membro strutturale a cui appartengono, dallo spessore ed ovviamente dal tipo di materiale in oggetto. Ottenuta la normativa é possibile procedere con la definizione dei materiali: facendo riferimento al cartiglio del project drawing di Figura D.2 di pagina 97, si può osservare che nell'angolo in alto a destra é presente una tabella che viene di seguito riprodotta:

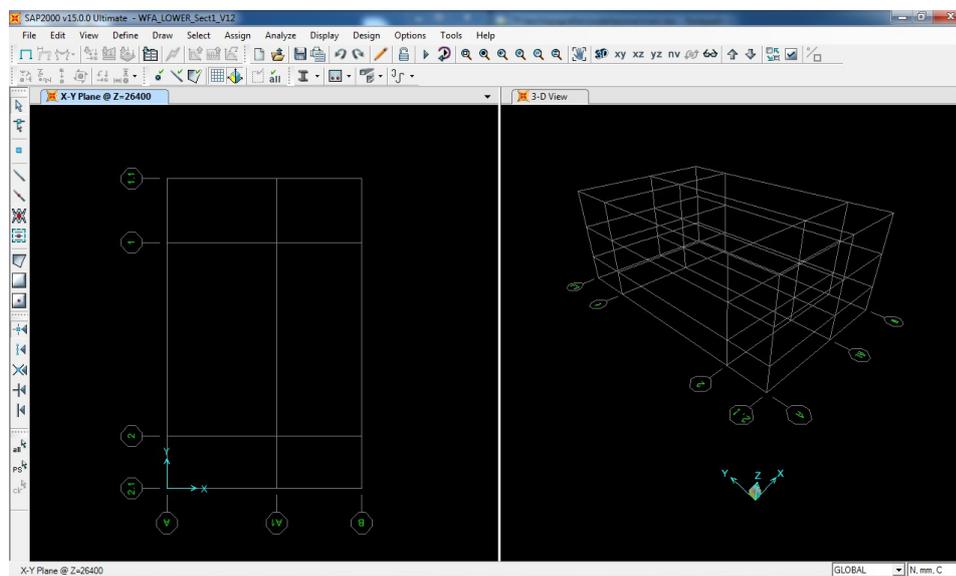


Figura 4.7: Main window with auxiliary axes

MATERIALS				
DESCRIPTION	QUALITY		CAT.	
WPG6417 - 1500 x 800 / 18 - 35	S420	KT-40	SEE NOTE	S
WPG5440 - 1500 x 600 / 15 - 40	S420	KT-40		S
WPG4522 - 1500 x 600 / 15 - 30	S420	KT-40		S
WPG4051 - 1500 x 500 / 15 - 30	S420	KT-40		S
WPG3670 - 1500 x 500 / 15 - 25	S420	KT-40		S
WPG3462 - 1000 x 500 / 15 - 30	S420	KT-40		S
WPG2990 - 1000 x 400 / 15 - 30	S420	KT-40		S
WPG2858 - 1000 x 500 / 12 - 25	S420	KT-40		S
WPG2371 - 900 x 400 / 12 - 25	S420	KT-40		S
WPG2465 - 1000 x 400 / 12 - 25	S420	KT-40		S
WPG2178 - 900 x 300 / 15 - 25	S420	KT-40		S
WPG2160 - 1000 x 400 / 12 - 20	S420	KT-20		S
WPG1978 - 900 x 300 / 12 - 25	S420	KT-40		S
WPG1856 - 1000 x 400 / 12 - 15	S420	KT-20		S
WPG1790 - 700 x 300 / 12 - 25	S420	KL-20		1
WPG1620 - 1000 x 300 / 12 - 15	S420	KT-20		S
WPG1564 - 700 x 300 / 12 - 20	S420	KLO		1
WPG1470 - 600 x 300 / 12 - 20	S420	KLO		1
WPG1144 - 500 x 250 / 12 - 18	S420	KLO		1

Figura 4.8: Sections and materials

Il materiale impiegato é del tipo S420 e viene impiegato per tutte le travi della struttura primaria del level in oggetto. Facendo riferimento al particolare di Figura 4.9 estratto dalla normativa [7], si puó osservare che

la tensione ammissibile del materiale S420 varia in funzione dello spessore dell'oggetto a cui è applicato:

- da 0 a 16 mm: 420 MPa
- da 16 a 40 mm: 400 MPa
- da 40 a 63 mm: 390 MPa
- da 63 a 80 mm: 380 MPa
- da 80 a 100 mm: 380 MPa

EN 10225:2001 (E)

Table 5b — Mechanical properties for plates - S420 grades
(see also Table 5d)

Group	Steel name	Steel number	Tensile strength R_m for thickness t (mm) *		Minimum yield strength R_{eH} for thickness t (mm)					Minimum Elongation ^a A on gauge length of 5,65 $\sqrt{S_0}$	Minimum average Charpy V-notch impact test value		Thickness maximum
			1 ≤ 40	40 < t ≤ 100	1 ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	63 < t ≤ 80	80 < t ≤ 100		Temp.	Energy	
2	S420G1+Q	1,8890	500 – 660	480 – 640	420	400	390	380	380	19	-40	60	100 ^b
2	S420G1+M	1,8890	500 – 660	480 – 640	420	400	390	380	380	19	-40	60	100 ^b
3	S420G2+Q	1,8857	500 – 660	480 – 640	420	400	390	380	380	19	-40	60	100 ^b
3	S420G2+M	1,8857	500 – 660	480 – 640	420	400	390	380	380	19	-40	60	100 ^b

^a The specified tensile strength and elongation values apply to the maximum thickness for which minimum yield strengths are specified.
^b Charpy V-notch mid-thickness tests are also required for thicknesses over 40 mm.
^c 1 MPa = 1 N/mm²

Figura 4.9: EN10225 material S420

Per creare un nuovo materiale si accede alla Toolbar e si esegue Define>Materials...>Add New Material... in modo da aprire la finestra di Figura 4.10.

Con le considerazioni appena fatte è intuitivo come sono stati compilati i campi fino ad ottenere il risultato seguente:

Nel modo appena descritto è stato definito un material denominato 420THK0-16 che presenta le caratteristiche di resistenza del materiale nell'intervallo di spessori da 0 a 16 mm. L'operazione deve essere rieseguita per tutti gli spessori in modo da definire tutti i materials necessari.

4.4 Define frame sections

La definizione delle sezioni della travi avviene in modo del tutto analogo alla definizione dei materiali: facendo riferimento alla tabella di Figura 4.8 di pagina 22, si ottengono i valori degli spessori delle sezioni caratteristiche e si inseriscono in ambiente SAP avviando più volte da Toolbar il comando Define>Frame Sections...: l'unico accorgimento che è necessario tenere presente è che in queste opere le travi più grandi (quelle della struttura primaria) sono di formato non commerciale, di conseguenza i campi relativi

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: MAT

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 199947.98

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76903.07

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 248.2113

Minimum Tensile Stress, Fu: 399.896

Effective Yield Stress, Fye: 372.3169

Effective Tensile Stress, Fue: 439.8856

Switch To Advanced Property Display

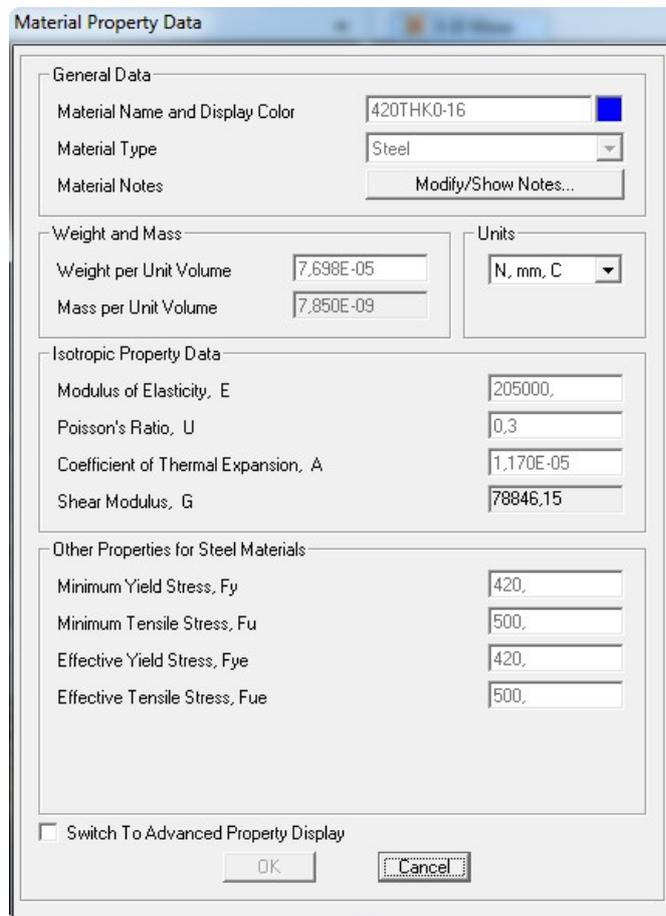
OK Cancel

Figura 4.10: Material Property Data empty

agli spessori vanno inseriti manualmente, mentre le travi piú piccole (quelle della struttura secondaria) sono di formato commerciale, di conseguenza é possibile ricavare le loro dimensioni con il comando Add New Property... e selezionare il database già contenuto nel software.

4.5 Insert points

Il primo point si inserisce in corrispondenza dell'intersezione degli assi ausiliari A e 2.1: per inserire un point in corrispondenza di un punto di intersezione degli assi ausiliari é sufficiente avviare il comando Draw Special Joint e posizionarlo con un click del tasto sinistro del mouse nel punto corrispondente. Per inserire un point non appartenente all'intersezione di due assi ausiliari é necessario inserire le coordinate relative ad un point già esistente. Dopo aver avviato nuovamente il comando Draw Special Joint si

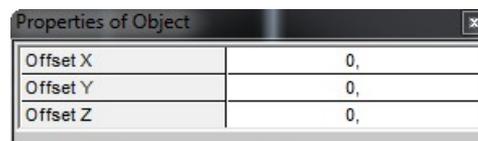


The dialog box 'Material Property Data' contains the following fields and controls:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: 420THK0-16
 - Material Type: Steel
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 7,698E-05
 - Mass per Unit Volume: 7,850E-09
- Units:** N, mm, C
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 205000,
 - Poisson's Ratio, U: 0,3
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05
 - Shear Modulus, G: 78846,15
- Other Properties for Steel Materials:**
 - Minimum Yield Stress, Fy: 420,
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 500,
 - Effective Yield Stress, Fye: 420,
 - Effective Tensile Stress, Fue: 500,
- Switch To Advanced Property Display
- Buttons: OK, Cancel

Figura 4.11: Material Property Data

apre la finestra seguente:

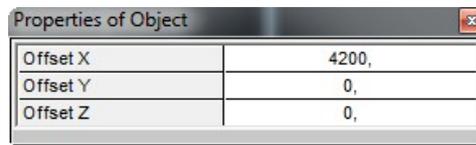


Properties of Object	
Offset X	0,
Offset Y	0,
Offset Z	0,

Figura 4.12: Properties of Object point empty

Facendo riferimento ai valori delle quote del project drawing di Figura D.2 di pagina 97 é intuitivo come si ottiene il seguente risultato:

Dopo aver fatto click con il pulsante sinistro sul point a cui le coordinate inserite sono relative, il secondo point viene inserito. Ripetendo l'operazione piú volte fino ad inserire tutte i points il risultato si ottiene il risultato di Figura 4.14



Properties of Object	
Offset X	4200,
Offset Y	0,
Offset Z	0,

Figura 4.13: Properties of Object point

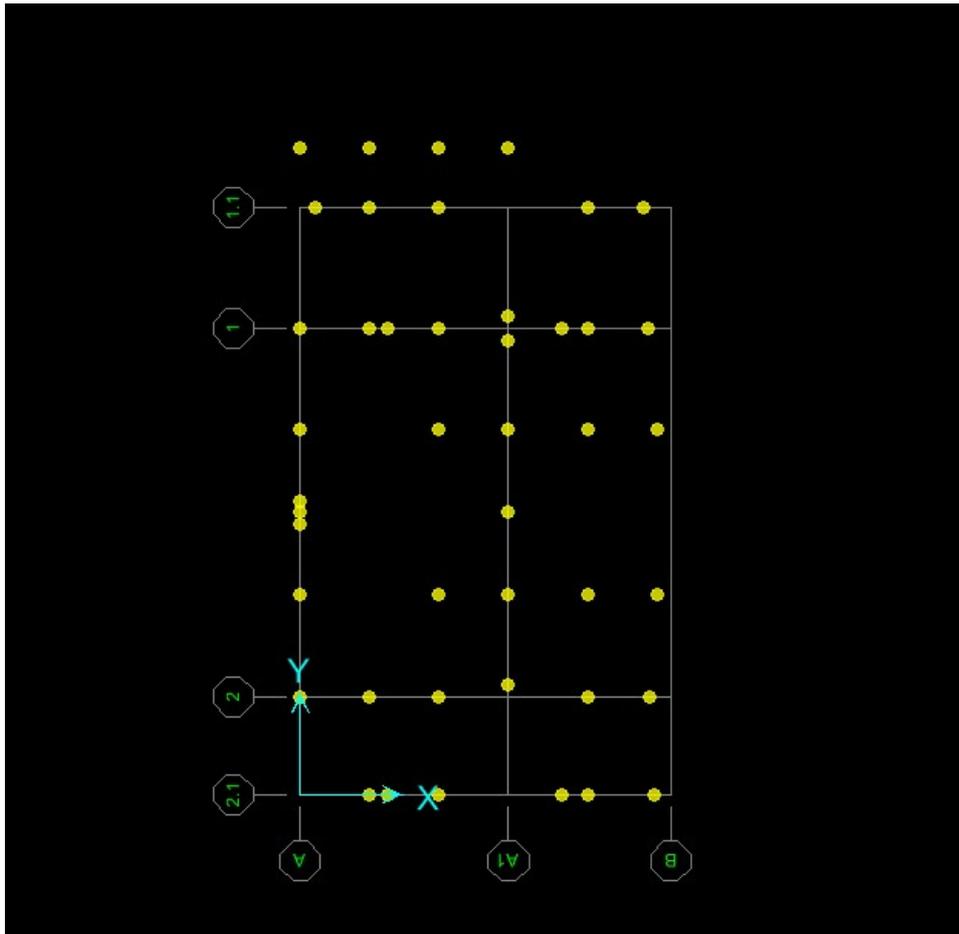


Figura 4.14: Points

4.6 Insert frames

Per inserire un frame si procede in modo analogo all'inserimento dei points. Per prima cosa si avvia il comando Draw Frame/Cable in modo da aprire la finestra di Figura 4.15.

Nel menu a tendina del campo Section si seleziona il nome della Frame Section relativo alla trave in oggetto e successivamente si collegano con due clicks del pulsante sinistro del mouse i due points che rappresentano gli

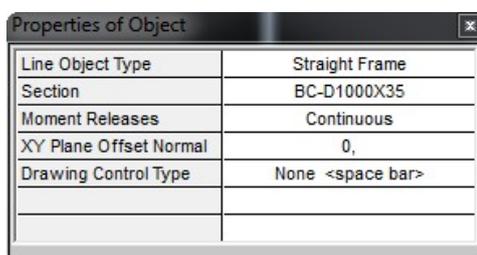


Figura 4.15: Properties of Object frame

estremi della trave da inserire. Si ripete l'operazione precedente fino ad ottenere il risultato di Figura 4.16.

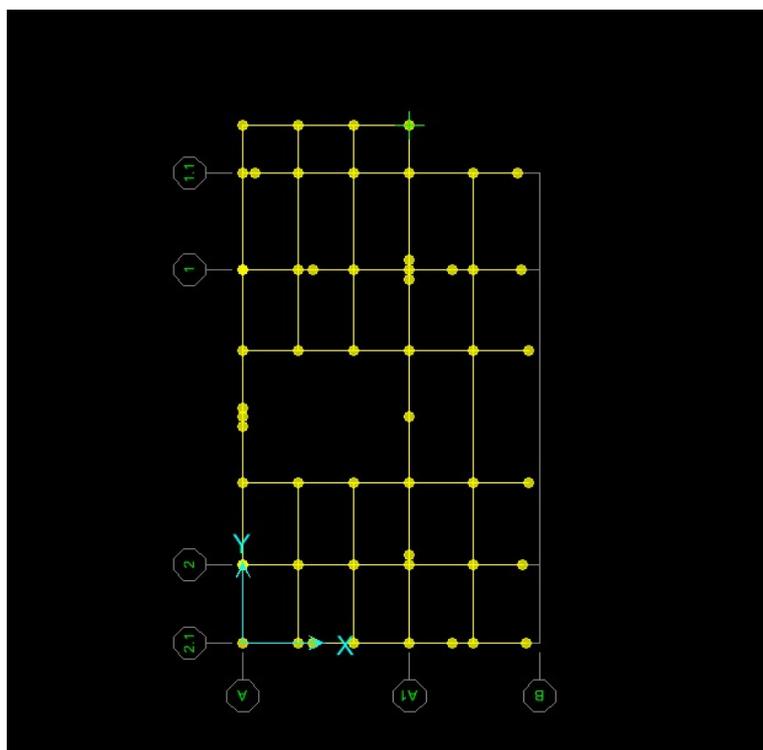


Figura 4.16: Sap primary structure

Giunti a questo punto é necessario effettuare la modellazione della struttura secondaria. La modellazione della struttura secondaria avviene in modo del tutto analogo, quindi per semplicitá e chiarezza non si elencano i passaggi, ma solo il risultato finale che é visibile in Figura 4.17.

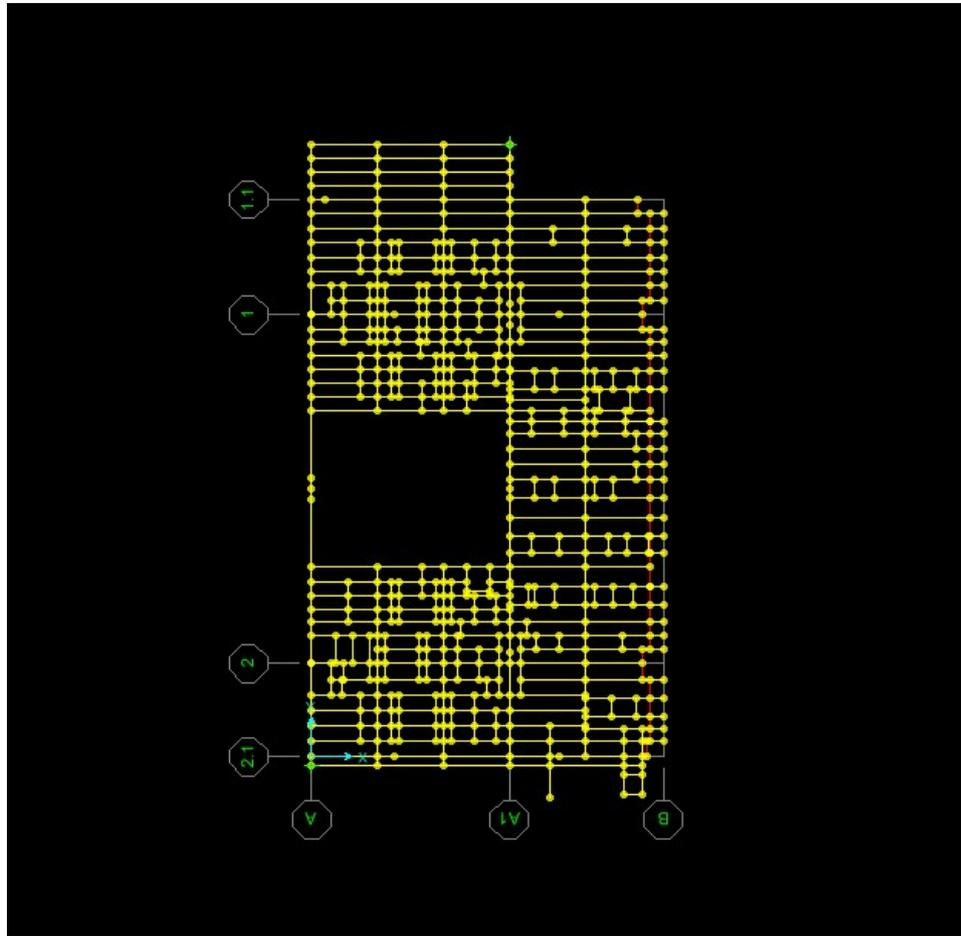


Figura 4.17: Sap secondary structure

4.6.1 Insert plates

In questa fase sono state inserite le lamiere che poggiano sulle travi secondarie e che costituiscono la superficie calpestabile: non concorrono alla resistenza strutturale, ma incrementano il peso proprio della struttura. Facendo riferimento al cartiglio del project drawing del flooring plan del lower level deck di Figura D.10 di pagina 105 si osserva, come in precedenza, che nell'angolo in alto a destra è presente una tabella riportata in Figura 4.18

Osservando il particolare estratto dalla normativa [7] riportato in Figura 4.19 si può notare che in questo caso la resistenza del materiale varia in funzione dello spessore del membro a cui è applicato come segue:

- da 0 a 25 mm: 355 MPa;
- da 25 a 40 mm: 345 MPa.

MATERIALS		
DESCRIPTION	QUALITY	CAT.
11 mm THK PL	S355 K10	1
GRATING 30x5 / 22x100	S235 KL+20	NS
HANDRAIL	S235 KL+20	NS

Figura 4.18: Plates and materials

EN 10225:2001 (E)

Table 5a — Mechanical properties for plates - S355 grades see also Table 5d

Group	Steel name	Steel number	Tensile strength R_m^a		Minimum yield strength R_{eH} for thickness t (mm)							Minimum elongation A on gauge length of $5,65 \sqrt{a_0}^b$	Minimum average Charpy V-notch impact test value		Thickness maximum
			Thickness t (mm) ≤ 100	Thickness t (mm) > 100	1 ≤ 16	16 $< 1 \leq 25$	25 $< 1 \leq 40$	40 $< 1 \leq 63$	63 $< 1 \leq 100$	100 $< 1 \leq 160$	Temp.		Energy		
					MPa ^c	MPa ^c	MPa ^c	MPa ^c	MPa ^c	MPa ^c				MPa ^c	
1	S355G2+N	1.8801+N	470 - 630	355	345	-	-	-	-	-	22	-20	50	20	
1	S355G3+N	1.8802+N	470 - 630	355	345	345	-	-	-	-	22	-40	50	40	
1	S355G5+N	1.8804+N	470 - 610	355	345	-	-	-	-	-	22	-20	50	20	
1	S355G6+N	1.8805+N	470 - 610	355	345	345	-	-	-	-	22	-40	50	40	
2	S355G7+N	1.8808+N	470 - 630	460 - 620	355	355	345	335	325	320	22	-40	50	150 ^d	
3	S355G8+N	1.8810+N	470 - 630	460 - 620	355	355	345	335	325	320	22	-40	50	150 ^d	
2	S355G7+M	1.8808+M	470 - 630	-	355	355	345	335	325	-	22	-40	50	100 ^d	
3	S355G8+M	1.8810+M	470 - 630	-	355	355	345	335	325	-	22	-40	50	100 ^d	
2	S355G9+N	1.8811+N	470 - 630	460 - 620	355	355	345	335	325	320	22	-40	50	150 ^d	
2	S355G9+M	1.8811+M	470 - 630	-	355	355	345	335	325	-	22	-40	50	100 ^d	
3	S355G10+N	1.8813+N	470 - 630	460 - 620	355	355	345	335	325	320	22	-40	50	150 ^d	
3	S355G10+M	1.8813+M	470 - 630	-	355	355	345	335	325	-	22	-40	50	100 ^d	

NOTE ^aThe specified tensile strength and elongation values apply to the maximum thickness for which minimum yield strengths are specified.
^b Charpy V-notch mid-thickness tests are also required for thicknesses over 40 mm.
^c In the case of piling material the mid-thickness impacts shall be carried out at -30 °C in lieu of -40 °C.
^d 1MPa = 1 N/mm²

Figura 4.19: EN10225 S355

Dopo aver definito i materiali con nomenclatura 355THK0-25 e 355THK25-40 rispettivamente, si passa alla modellazione delle lamiere. Per inserire una lamiera si esegue ripetutamente il comando Draw Rectangular Area fino a completamento.

4.7 Diagonali - Offset

I diagonali sono quella parte della struttura primaria che é costituita da tubolari che vengono interposti in modo inclinato tra due level. I diagonali del lower level deck sono accoppiati superiormente al mezzanine level deck ed inferiormente al lower level deck. Ciò che é importante osservare sono le due diverse modalit  di accoppiamento della parte inferiore: tale accoppiamento pu  avvenire tra diagonale e trave della struttura primaria (Figura 4.20)

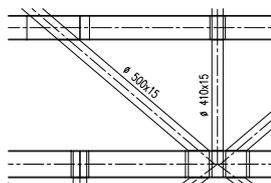


Figura 4.20: Esempio di diagonale accoppiato alla trave

oppure tra diagonale e colonna della struttura primaria (Figura 4.21).

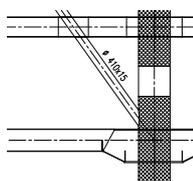


Figura 4.21: Esempio di diagonale accoppiato alla colonna

Nel primo caso non si presentano grossi problemi, infatti la modellazione segue le stesse procedure già viste, al più servendosi degli shop drawings quando sono necessarie quote non riportate nei project drawings. Nel secondo caso è necessario fare uso del comando di offset. Consideriamo come esempio un diagonale della row A che sia inferiormente accoppiato con una colonna. Per prima cosa è necessario impostare la vista laterale:

- selezionare la finestra della plan view con il tasto sinistro del mouse effettuando un click al suo interno;
- da ToolBar eseguire il comando Set YZ view corrispondente al Button con indicate le lettere yz;
- eseguire il comando Move Up in List oppure Move Down in List, corrispondenti ai Buttons della ToolBar contenenti delle frecce verticali, fino a visualizzare la row A;
- dal menu a comparsa eseguire View>Set 2D View... fino ad aprire la finestra di Figura 4.22 in cui si deve selezionare la voce Back Face;
- selezionare OK.

La Figura 4.23 riporta un dei due diagonali accoppiato con una colonna della row A: osservando attentamente ci si accorge che il point inferiore del diagonale è adiacente al frame che modella la colonna verticale.

Tuttavia nella realtà la geometria non è propriamente quella modellata, infatti la colonna avrà un diametro ed il diagonale sarà saltato al bordo di

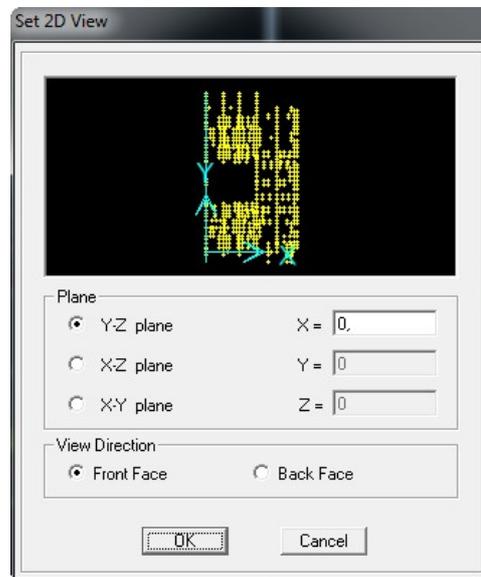


Figura 4.22: Set 2D View

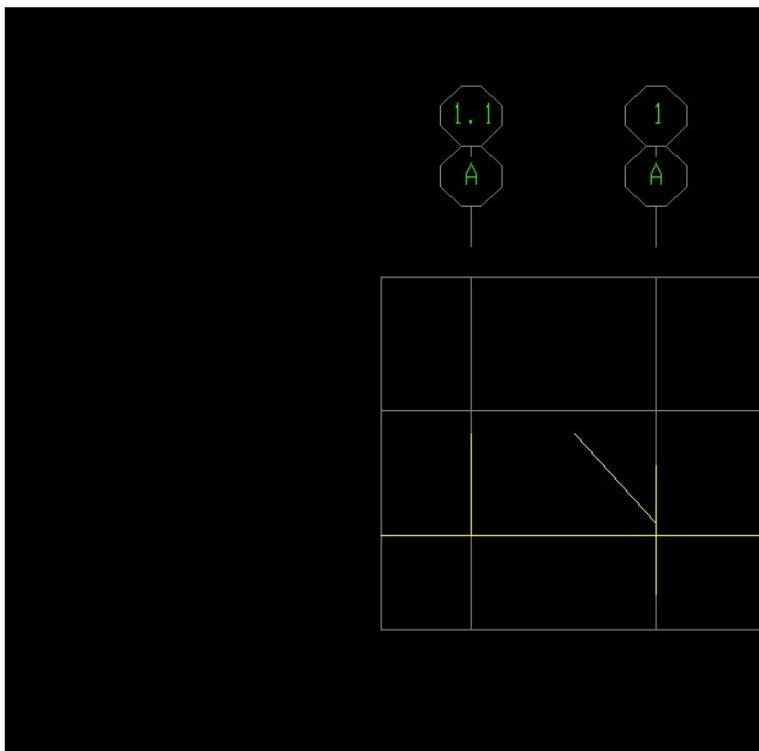


Figura 4.23: Esempio di diagonale in sap

quest'ultima e non in corrispondenza dell'asse. A questo punto è necessario inserire un offset orizzontale per indicare a SAP2000 quanto appena esposto. Si procede come segue:

- si seleziona il Frame del diagonale in oggetto con il tasto sinistro del mouse;
- dalla barra dei menu si esegue il comando `Assign>Frame>Insertion Point...` in modo da aprire la finestra di Figura 4.24;
- si compilano i campi della finestra come presentato in Figura 4.25.

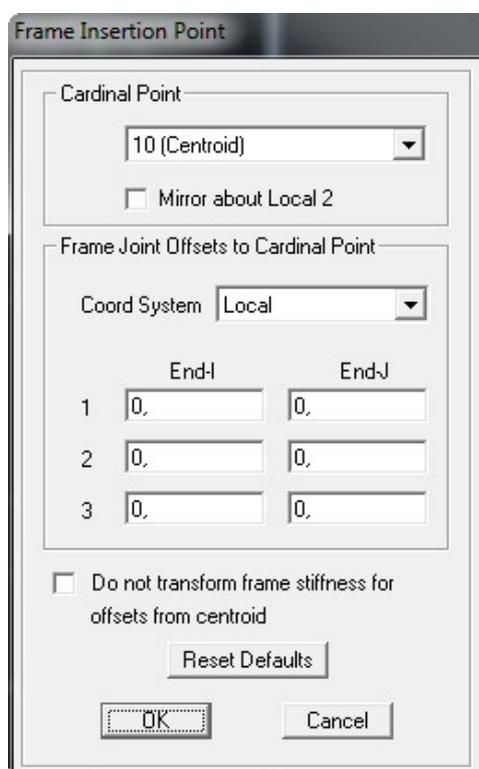


Figura 4.24: Frame Insertion Point empty

Il valore inserito è pari a 700 ed è dato dalla metà del diametro della colonna in oggetto.

4.8 Assign releases

Questo step costituisce la parte più lunga della modellazione ed anche la parte più delicata in quanto il risultato è soggetto alla conoscenza ed alla sensibilità di chi effettua la modellazione, inoltre le scelte influenzano

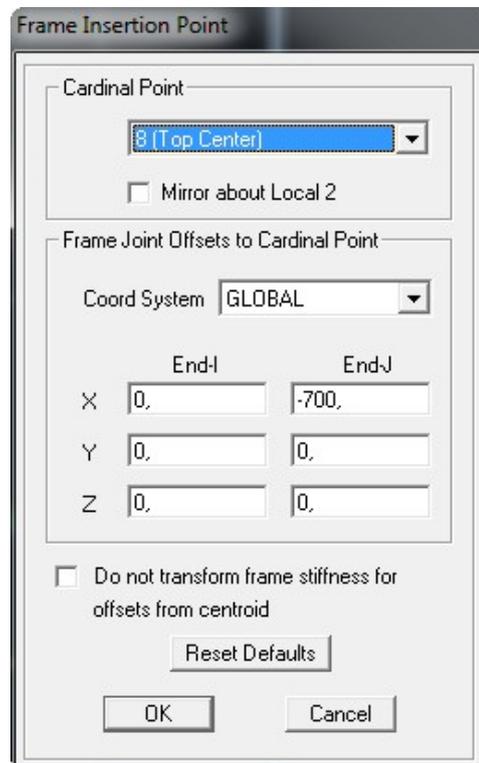
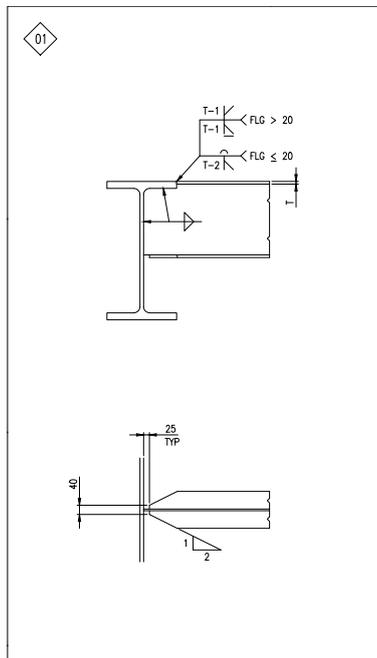


Figura 4.25: Frame Insertion Point

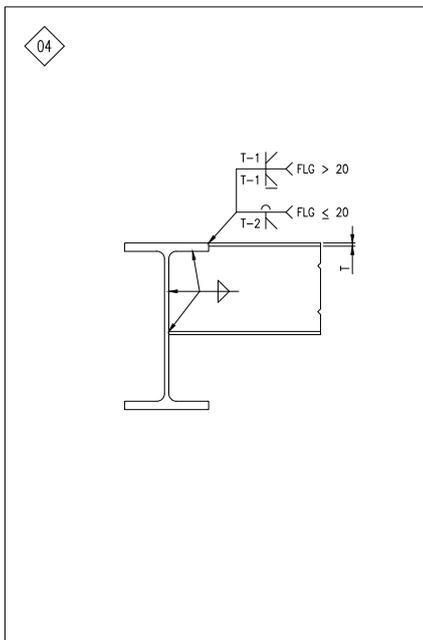
notevolmente la simulazione. Lo scopo della fase in oggetto è l'inserimento delle releases: le releases sono delle indicazioni di comportamento strutturale degli accoppiamenti tra le travi che vengono fornite in input al software in modo tale che esso sia in grado di effettuare una simulazione più accurata. Per prima cosa è necessario distinguere due diversi tipi di connessione tra travi:

- accoppiamento tra trave primaria e trave primaria: l'accoppiamento viene realizzato con dei nodi, ovvero con degli elementi di rinforzo che rendono il giunto approssimabile ad un incastro perfetto e quindi in grado di trasmettere sollecitazioni di qualsiasi tipo ed in qualsiasi direzione. Se l'accoppiamento avviene tra due travi primarie non è utile l'inserimento di releases poiché di default il software considera i giunti come incastri perfetti;
- accoppiamento tra trave primaria e trave secondaria oppure tra due travi secondarie: in questo caso viene effettuata una valutazione del tipo di accoppiamento in quanto quest'ultimo potrebbe non essere approssimato come incastro perfetto.

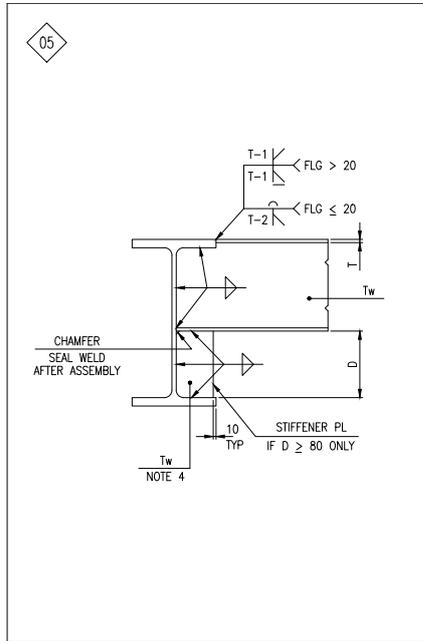
Facendo riferimento Figura D.6 di pagina 101 osserva che il tipo di connessioni che si presentano in questo level sono: 01 (vedi cartiglio sotto la voce NOTES), 04, 05, 06, 08, 09, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22. Per esaminare i dettagli relativi alle connessioni in oggetto, si fa riferimento al project drawing di Figura C.4 di pagina 91 e seguenti. Ora é necessario definire quali tra le connessioni in oggetto possono essere approssimate ad incastri perfetti (FIXED) e quali necessitano di releases (NOT FIXED). Vengono di seguito riportati i dettagli delle connessioni ed elencate le motivazioni che hanno condotto alla loro classificazione:



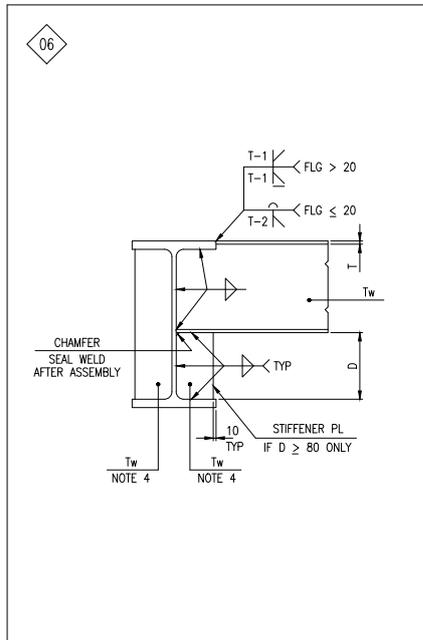
NOT FIXED: la parte inferiore della trave di altezza minore non é saldata, quindi non é in grado di trasmettere momento flettente;



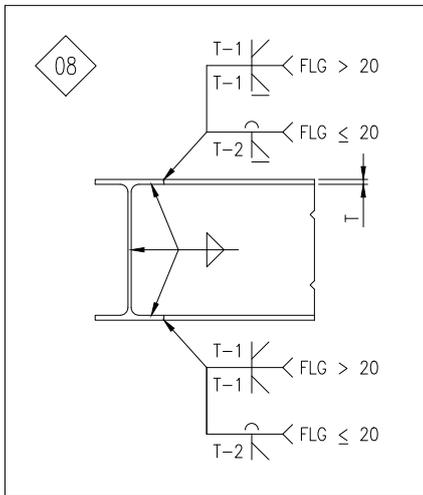
FIXED: sebbene le travi siano di altezze diverse, quella di altezza minore viene saldata anche nella parte inferiore, quindi é in grado di trasmettere momento flettente;



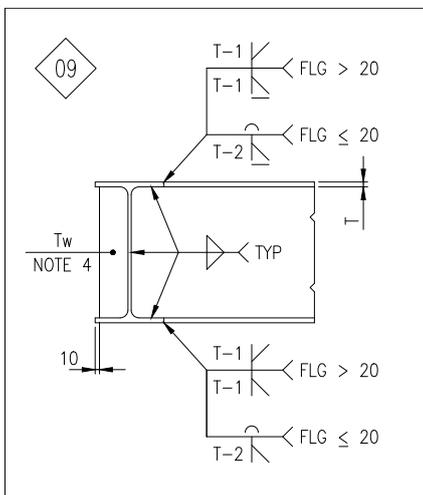
FIXED: la trave di altezza inferiore viene saldata anche nella sua parte inferiore, inoltre é aggiunto uno stiffener di rinforzo;



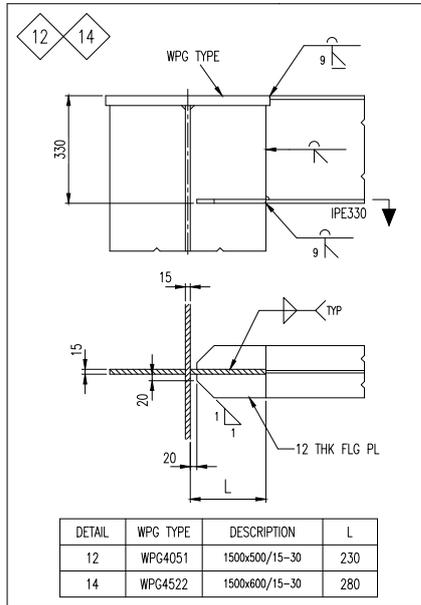
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



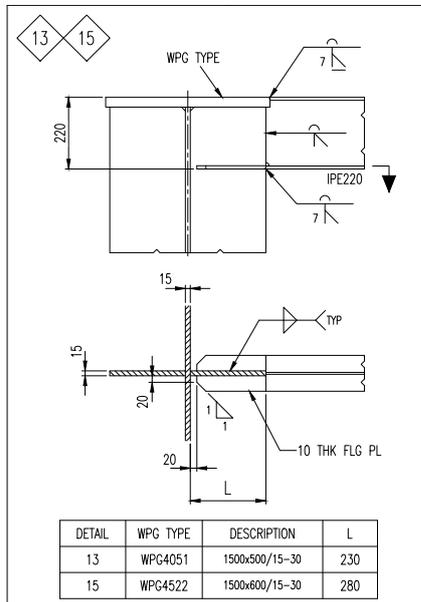
FIXED: le due travi, oltre ad avere medesima altezza, sono saldate in ogni punto;



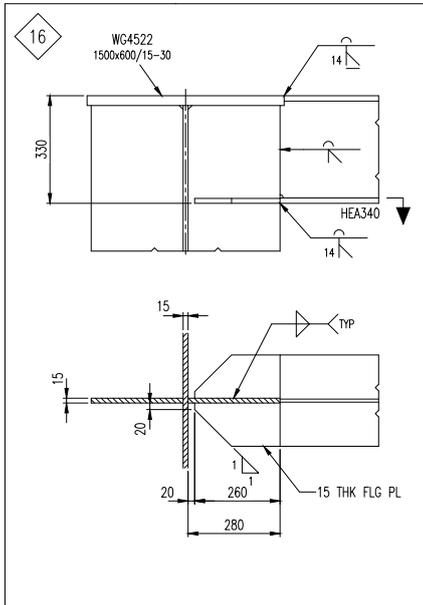
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



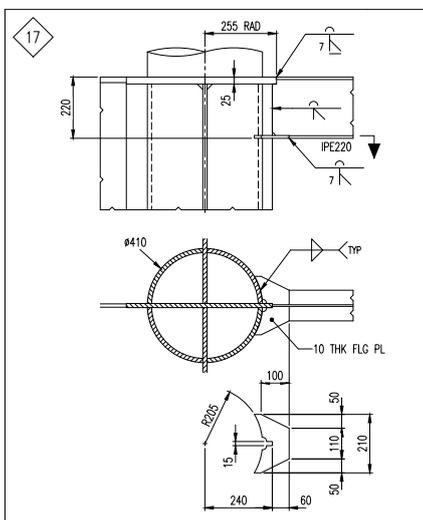
FIXED: la parte inferiore della trave viene prolungata e saldata, quindi é in grado di trasmettere momento flettente in sicurezza;



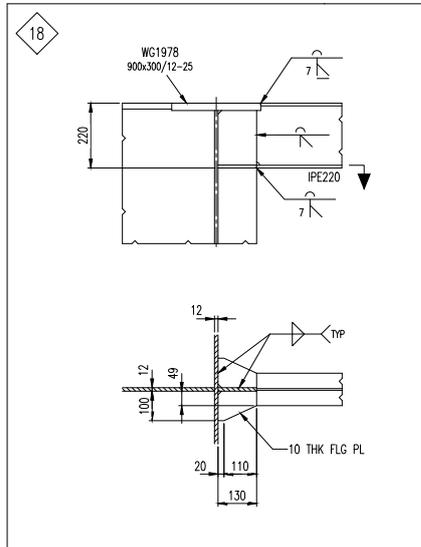
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



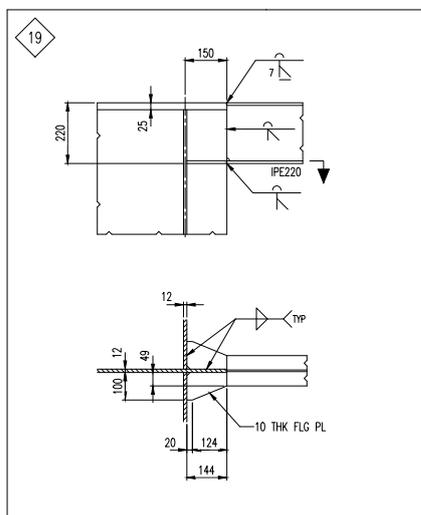
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



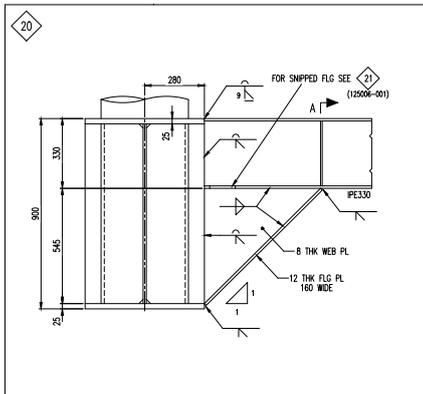
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



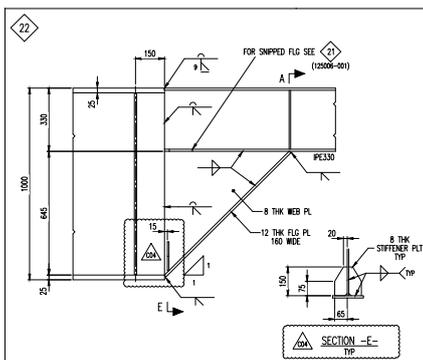
FIXED: motivazione analoga alla precedente;



FIXED: motivazione analoga alla precedente;



FIXED: nella parte inferiore é previsto un fazzoletto di rinforzo che agevola la trasmissione delle sollecitazioni;



FIXED: motivazione analoga alla precedente.

Facendo riferimento alla sezione NOTES del cartiglio di Figura D.6 di pagina 101 che viene riportato in Figura 4.26,

NOTES	
1 -	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES U.N.O.
2 -	ALL ELEVATIONS ARE REFERRED TO ± 0.00 L.A.T.
3 -	ALL BEAM CONNECTIONS TO BE :
TYPE	$\langle 01 \rangle$ FOR BEAMS WITH UNEQUAL HEIGHT U.N.O.
TYPE	$\langle 08 \rangle$ FOR BEAMS WITH EQUAL HEIGHT U.N.O.

Figura 4.26: Notes

considerando che l'unica connessione di tipo NOT FIXED é la 01 e che le note specificano, salvo diversa segnalazione, che le travi con altezza diversa presentano accoppiamento di tipo 01, si può riassumere quanto segue:

- tutte le travi con altezza diversa sono accoppiate con connessione NOT FIXED: le travi primarie sono di altezza maggiore di ogni trave secondaria (e quindi di altezza diversa), di conseguenza in tutte le connessioni tra travi primarie e secondarie in cui non é specificato il tipo di connessione, si tratta di un giunto di tipo 01, quindi NOT FIXED e quindi che necessita di releases;
- tutte le connessioni che coinvolgono le travi di uguale altezza oppure quelle in cui viene specificato sono connessioni di tipo FIXED che non necessitano di releases.

Stabilito quanto detto si può procedere con l'inserimento delle releases. Per inserire una release si seleziona con un click del tasto sinistro del mouse il frame in oggetto e successivamente si esegue da Toolbar il comando Assign>Frame>Releases/Partial fixity... fino ad aprire la finestra di Figura 4.27.

A questo punto é necessario spuntare le caselle relative alla sollecitazione che la connessione in oggetto non é in grado di trasmettere. Il risultato é il seguente:

L'unica eccezione la fa la trasmissione del momento torcente che viene negata solo in corrispondenza di uno dei due estremi del frame in oggetto: la motivazione é dovuta al fatto che se la trasmissione del momento torcente

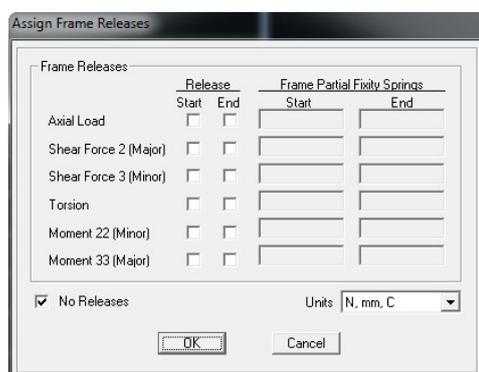


Figura 4.27: Assign frame releases empty

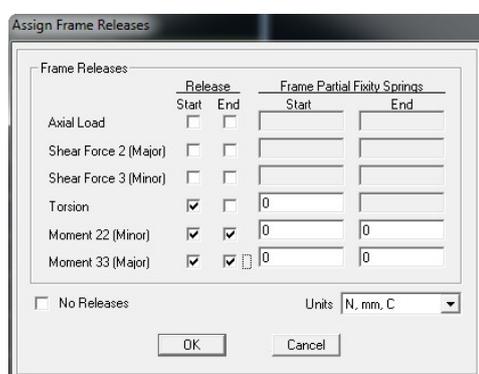


Figura 4.28: Assign frame releases

é nulla in un estremo della trave lo é anche in corrispondenza dell'altro, altrimenti la trave sarebbe labile. L'operazione deve essere ripetuta per ogni frame della mesh fino a definire tutte le releases per le connessioni NOT FIXED.

4.9 Concentrated loads

Lo scopo di questa fase é quello di inserire dei carichi concentrati in corrispondenza dei nodi della struttura primaria che non sono stati modellati in SAP2000. Nel modello SAP2000 la lunghezza delle travi é pari alla distanza tra due points, la quale rappresenta la distanza tra il centro di due nodi. Tuttavia ogni nodo ha una dimensione caratteristica, di conseguenza nella realtà le travi saranno leggermente piú corte di come sono state modellate. L'effetto di questa differenza rispetto alla realtà consiste nel fatto che il peso da inserire sará pari al peso proprio del nodo, al quale viene però detratto il peso della porzione in eccesso della trave. Per prima cosa é opportuno determinare il peso lineare di ogni tipo di trave coinvolta. Osservando la

Figura 4.8 contenente la tabella estratta dal cartiglio del project drawing della primary structure si nota che sono elencate le varie tipologie di travi e le dimensioni delle loro sezioni. La prima trave denominata WPG6417 ha una sezione con le dimensioni 1500 x 800 / 18 - 35 che rappresentano rispettivamente:

- 1500 (h): altezza della trave in mm;
- 800 (b): base della trave in mm;
- 18 (t): spessore dell'anima in mm;
- 35 (s): spessore dell'ala in mm.

L'area della sezione é data da:

$$A = 2bs + t(h - 2s)$$

mentre la densità del materiale viene specificata nella medesima normativa ed é pari a $7850 \frac{kg}{m^3}$. In Figura 4.29 sono presentati i risultati delle densità lineari di ogni tipo di trave.

ID	Number	ρ (kg/m ³)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	s (mm)	A (mm ²)	ρ_l (kg/mm)
WPG	6417	7850	1500	800	18	35	81740	0,6416590
WPG	5440	7850	1500	600	15	40	69300	0,5440050
WPG	4522	7850	1500	600	15	30	57600	0,4521600
WPG	4051	7850	1500	500	15	30	51600	0,4050600
WPG	3670	7850	1500	500	15	25	46750	0,3669875
WPG	3462	7850	1000	500	15	30	44100	0,3461850
WPG	2990	7850	1000	400	15	30	38100	0,2990850
WPG	2858	7850	1000	500	12	25	36400	0,2857400
WPG	2371	7850	900	400	12	25	30200	0,2370700
WPG	2465	7850	1000	400	12	25	31400	0,2464900
WPG	2178	7850	900	300	15	25	27750	0,2178375
WPG	2160	7850	1000	400	12	20	27520	0,2160320
WPG	1978	7850	900	300	12	25	25200	0,1978200
WPG	1856	7850	1000	400	12	15	23640	0,1855740
WPG	1790	7850	700	300	12	25	22800	0,1789800
WPG	1620	7850	1000	300	12	15	20640	0,1620240
WPG	1564	7850	700	300	12	20	19920	0,1563720
WPG	1470	7850	600	300	12	20	18720	0,1469520
WPG	1144	7850	500	250	12	18	14568	0,1143588

Figura 4.29: Linear density

Come esempio per la determinazione del carico da aggiungere consideriamo il nodo WLN04 il cui shop drawing detail viene riportato in Figura 4.30: dalla tabella della figura é possibile ottenere il peso del nodo che in questo caso vale $P = 11668.0kg$.

Poiché le travi che insistono nel nodo sono tre, allora saranno tre anche le rettifiche da effettuare sul peso del nodo:

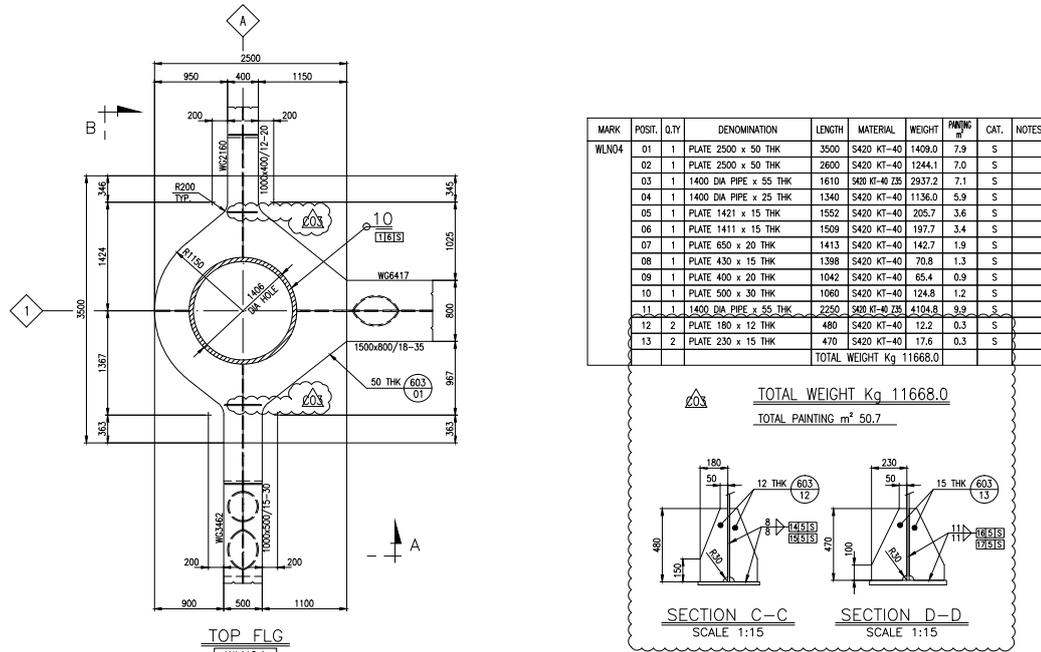


Figura 4.30: WLN 04

WPG6371

$$R_1 = 0.6416590 \frac{kg}{mm} \cdot (1150 + 200)mm = 866.2kg$$

WPG2160:

$$R_2 = 0.2160320 \frac{kg}{mm} \cdot (1424 + 346)mm = 382.4kg$$

WPG3462:

$$R_3 = 0.3461850 \frac{kg}{mm} \cdot (363 + 1367)mm = 598.9kg$$

In definitiva il carico da assegnare in SAP2000 é pari a:

$$Q = P - (R_1 + R_2 + R_3) = 9820.5kg$$

Dopo aver ripetuto le operazioni descritte per tutti i nodi che interessano la section in oggetto, si dispone di tutti i valori da inserire in input

in SAP2000. Per inserire un carico concentrato su un point si seleziona il point con il tasto sinistro del mouse, ci si posiziona sulla ToolBar e si esegue il comando Assign>Joint Loads>Forces... in modo da aprire la finestra di Figura 4.31.

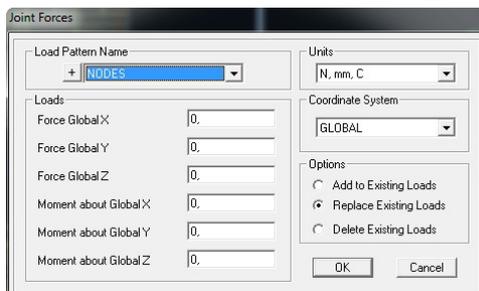


Figura 4.31: Joint Forces empty

La compilazione dei campi di testo della finestra é mostrata in Figura 4.32.

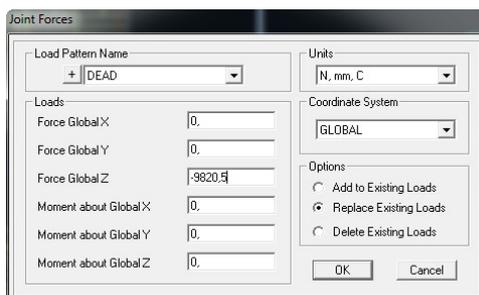


Figura 4.32: Joint Forces

Il comando dell'inserimento dei carichi concentrati deve essere ripetuto per ogni nodo della section. Nella finestra principale dovrebbero comparire delle piccole croci verdi in corrispondenza dei points ai quali sono stati assegnati i carichi.

Nel presente capitolo verranno presentati i principi che hanno portato alle soluzioni adottate per risolvere le problematiche connesse all'esecuzione della procedura di movement per il lower level deck section 1 e per il lower level deck section 2.

5.1 Lower level deck section 1 - Arrangement

Per effettuare le movimentazioni a terra la Rosetti Marino possiede due unità di ognuna delle due tipologie di carrelli motorizzati che vengono elencate di seguito:

- carrello semovente 150 che può essere ispezionato in Figura 5.1;
- carrello semovente 600 che può essere ispezionato in Figura 5.2.

Facendo riferimento a Figura H.4 di pagina 127 si possono già ottenere sia la tipologia di carrelli impiegati, sia la loro posizione definitiva, tuttavia in fase di progettazione della procedura si perviene a tale risultato solo dopo aver effettuato un studio che si articola nei seguenti passi:

1. posizionamento dei carrelli di primo tentativo;
2. simulazione in ambiente SAP2000 per determinare le porzioni di carico che si ripartiscono sui punti di appoggio della struttura sui carrelli;
3. verifica strutturale dei carrelli semoventi;
4. simulazione in ambiente SAP2000 per verificare che la struttura non sia in condizioni critiche.

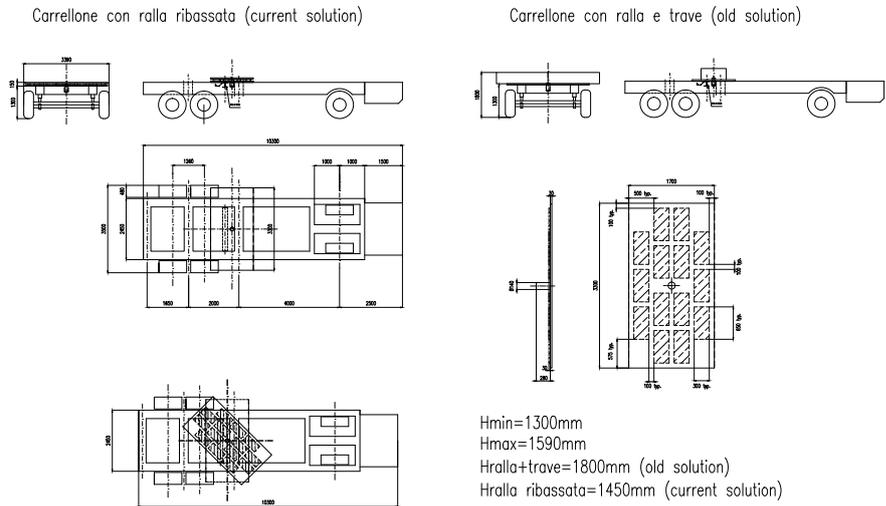


Figura 5.1: Carrello semovente 150

600t Trailer
Hmin=1400mm
Hmax=1800mm
Length/width/height (min.):11850/3500/1400mm
Maximum bearing capacity 600ton

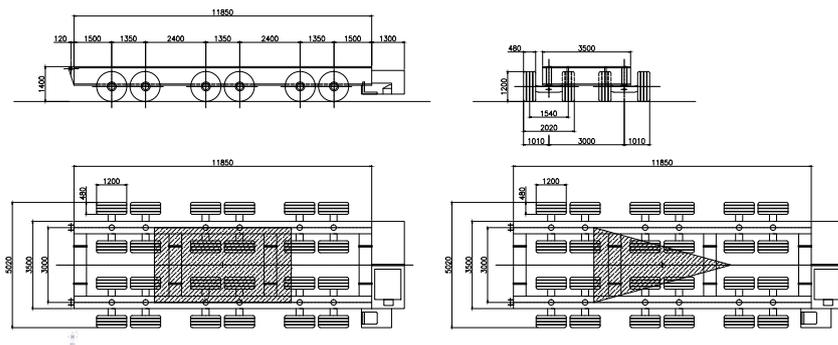


Figura 5.2: Carrello semovente 600

5.1.1 Ipotesi di posizionamento dei carrelli

In questa fase vengono effettuati vari tentativi di posizionamento (che possibilmente deve avvenire in modo tale che l'appoggio tra carrelli e struttura sia in corrispondenza delle travi primarie piú resistenti) prima di giungere alla soluzione definitiva, ma in questa trattazione supponiamo per chiarezza e semplicitá di aver effettuato come primo tentativo quello che poi si rivelerá corretto. Facendo riferimento a Figura H.4 di pagina 127 ipotizziamo la posizione dei carrelli semoventi di primo tentativo.

5.1.2 Determinazione dei carichi sui carrelli

Per la determinazione delle porzioni di carico che la struttura poggia sui carrelli ripartisce sugli stessi, si effettua una simulazione SAP2000. Facendo riferimento a Figura 5.1 a pagina 48, si puó osservare che il carrello semovente 150 é dotato di una ralla piana centrale: la ralla costituisce la parte del carrello su cui avviene il contatto con il bottom of steel della trave che poggia su di essa, infatti in questo tipo di carrelli si ottiene un unico punto di appoggio e quindi un solo carico. Diversamente avviene per i carrelli semoventi 600 di Figura 5.2, i quali sono dotati di una struttura superiore caratterizzata da due grandi travi longitudinali sulle quali avviene l'appoggio della trave primaria della section da movimentare: in questo modo i punti di contatto tra trave della section e carrello semovente saranno due e quindi anche i carichi trasmessi. I risultati ottenuti effettuando la simulazione si possono osservare in Figura 5.3.

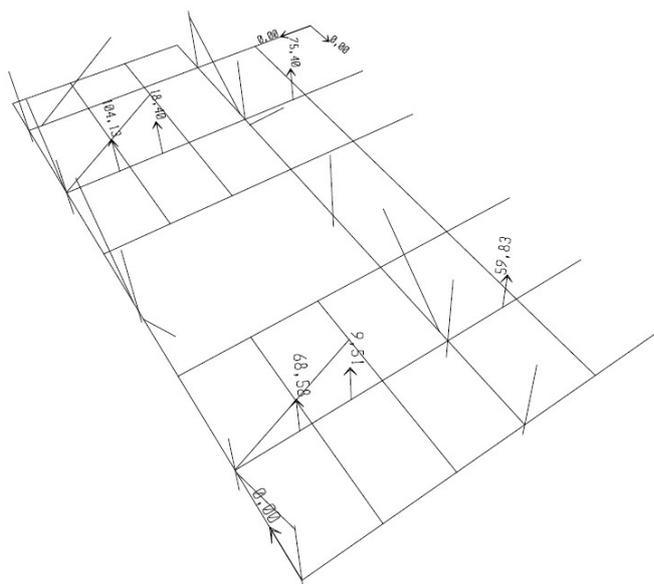


Figura 5.3: Trailers loads

Tra i due carrelli semoventi tipo 150 quello piú sollecitato é chiamato a sopportare un carico di circa $75.4 t$, mentre tra i due carrelli semoventi tipo 600 il piú caricato é sottoposto ai carichi di modulo $104.13 t$ e $18.40 t$.

5.1.3 Verifica carrello semovente 150

Il carrello semovente tipo 150 deve sopportare un solo carico ed il suo posizionamento puó avvenire solo in corrispondenza del centro della ralla piana, di conseguenza, se vengono rispettate le direttive di progetto, non si manifestano problemi di ribaltamento.

5.1.4 Verifica carrello semovente 600

Il carrello semovente tipo 600 é chiamato a sopportare due carichi in corrispondenza dei due punti di appoggio: sebbene i punti di appoggio siano equidistanti dal baricentro del carrello, i moduli dei carichi possono essere molto diversi e quindi causare problemi di ribaltamento. Dal manuale d'uso del carrello sono possibili quattro configurazioni di carico:

- carico uniformemente distribuito di $600 \frac{t}{m}$ Figura 5.4;
- carichi massimi su traverse anteriori e posteriori di $240 t$ ciascuno Figura 5.5;
- carichi massimi sulle traverse centrali di $300 t$ ciascuno Figura 5.6;
- carico massimo su centro macchina di $500 t$ Figura 5.7.

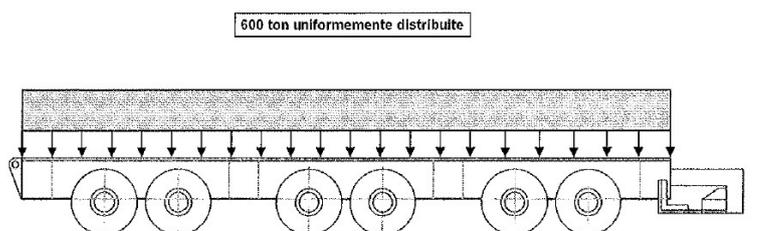


Figura 5.4: Carico uniformemente distribuito

Poiché i punti di appoggio sono due, l'unica configurazione ammissibile é quella con carico massimo su centro macchina: la somma di $104.13 t$ e $18.40 t$ é inferiore a $500 t$, di conseguenza la movimentazione puó essere condotta in sicurezza. Il manuale dei trailer in oggetto specifica che la retta d'azione della risultante dei carichi deve intersecare la zona ristretta mostrata in Figura 5.8.

Sia la condizione di carico che la posizione limite della retta d'azione della risultante dei carichi rispettano le condizioni d'uso, quindi i trailer durante la movimentazioni si trovano in condizioni di sicurezza.

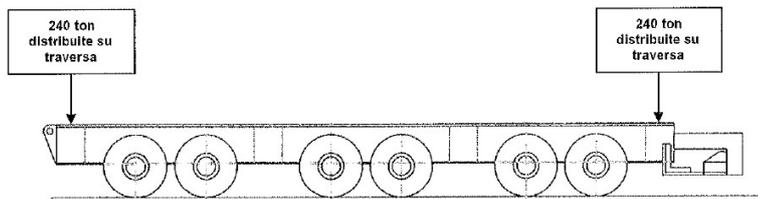


Figura 5.5: Carico su traverse esterne

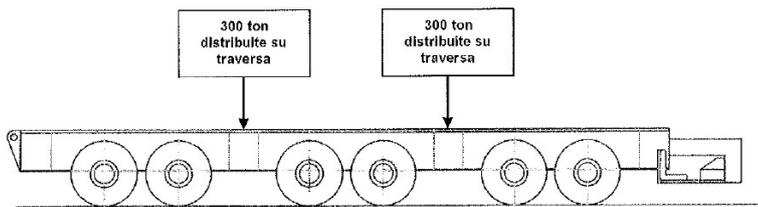


Figura 5.6: Carico su traverse interne

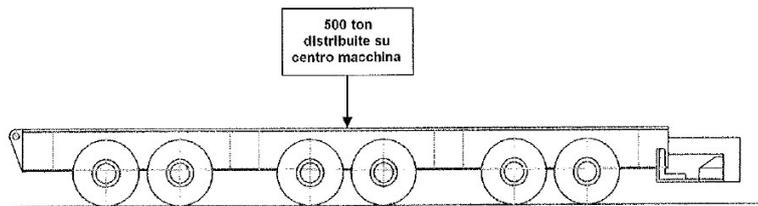


Figura 5.7: Carico in centro schema

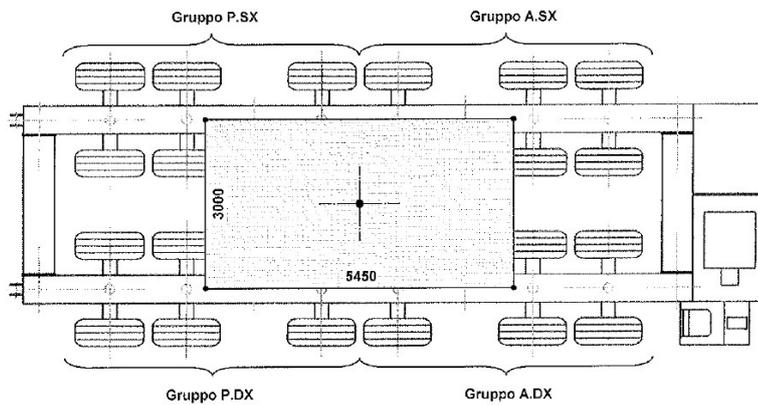


Figura 5.8: Area limite

5.1.5 Verifica strutturale

Anche se la struttura della section in oggetto é esclusivamente soggetta al peso proprio, la simulazione in ambiente SAP2000 si rende necessaria poiché

essa si trova in condizione di fuori-progetto: la struttura é infatti progettata per scaricare il proprio peso sulle colonne e non nei punti di appoggio sui carrelli, inoltre durante la fase di progettazione i calcoli strutturali sono eseguiti con l'ipotesi che la maglia strutturale di un level costituisca un'unico telaio con le strutture dei level superiori, alle quali si accoppia mediante colonne verticali e diagonali, e quindi molto piú resistente di un level isolato. L'immagine di Figura H.7 a pagina 130 contiene i risultati della simulazione strutturale della section in oggetto. In Figura 5.9 é mostrato l'estratto del risultato della simulazione: in corrispondenza di ogni trave viene riportato il rapporto tra la tensione effettiva e la tensione ammissibile.

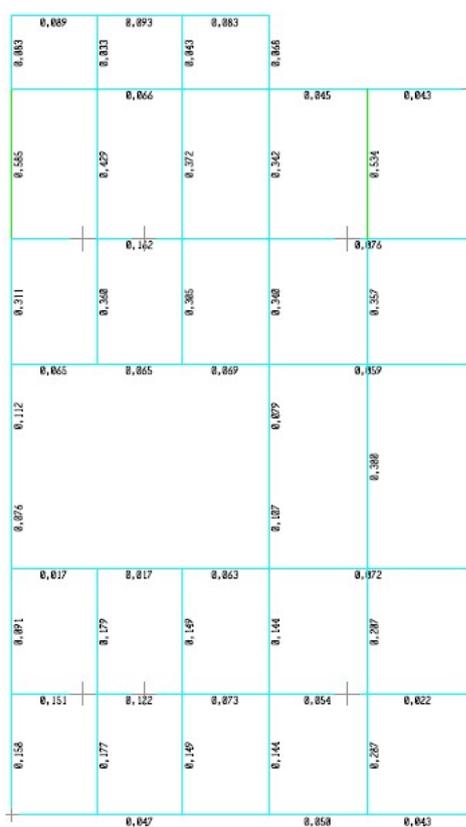
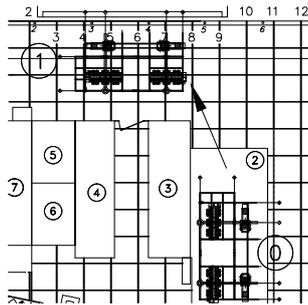


Figura 5.9: SAP plan view

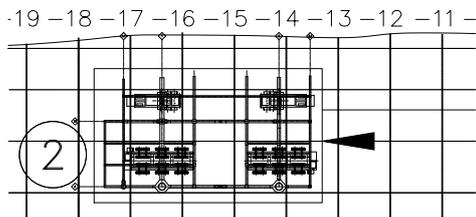
Il valore piú elevato che é stato simulato é pari a 0.585, ciò significa che la struttura é sollecitata in condizioni di abbondante sicurezza, per cui la movimentazione é sicura e può essere eseguita.

5.2 Lowe level deck section 1 - Yard layout movement

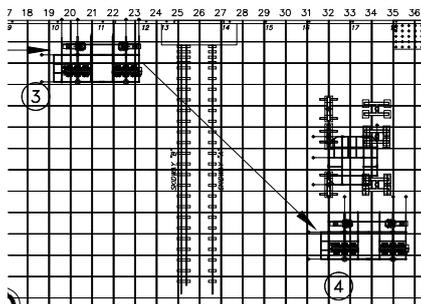
Facendo riferimento a Figura H.1 di pagina 124 si può osservare che, a costruzione avvenuta, la section si trova all'interno del block fabrication workshop, ovvero il fabbricato n.2 (vedi legenda), ed occupa la posizione n.0. In particolare la manovre da eseguire in cantiere saranno:



uscita dal block fabrication workshop;



movimentazione fino al capannone di verniciatura ed ingresso;



uscita dal capannone di verniciatura e posizionamento in prossimità degli upper grillage in attesa del lifting.

La procedura di movimentazione viene descritta in modo indicativo senza indicare dettagliatamente le manovre da eseguire: è infatti necessario raggiungere il cantiere nella posizione di partenza per definire precisamente gli spostamenti e considerare eventuali ostacoli non segnalati nel yard layout.

5.3 Lower level deck section 2

Le problematiche affrontate nello sviluppo della procedura di movement relativa alla section 2 sono di natura analoga: per non appesantire la trattazione ed evitare di ripetere ragionamenti analoghi a quelli effettuati, si é deciso di omettere la descrizione relativa a questa section. Vengono ugualmente presentati i risultati dello studio della procedura di movement relativa alla section 2 nell'appendice a pagina 147.

6.1 Generalit 

Studiare una procedura di lifting significa definire la geometria e la tipologia di tutti gli elementi strutturali coinvolti durante il sollevamento.

Il sollevamento di una section pu  essere effettuato in modi diversi in ragione del numero di gru impiegate, del tipo di accoppiamento tra le slings (o le grommets) e la section da sollevare, in base all'impiego o meno di spreader bar.

Il numero di gru che viene impiegato per sollevare una section va da un minimo di 1, obbligatoriamente con sling configurate a piramide (vedi pi  avanti), ad un massimo di 3, con sling configurate verticalmente oppure a v. Generalmente minore   il numero di gru impiegate per il sollevamento e minori sono i costi di produzione: tale onere incrementa notevolmente se le gru richieste per il sollevamento sono in numero superiore a quelle di propriet  della societ , in quanto si rende necessario l'affitto di nuove unit  con il conseguente passivo da affitto. Tuttavia la regola non ha validit  generale, infatti un minore numero di gru impiegate per il sollevamento, comporta, per ciascuna di esse, un assorbimento di una porzione maggiore del peso della section in oggetto, il quale pu  rendere necessarie configurazioni di sling dotate di spreader bar (vedi pi  avanti): il bilancino deve essere progettato e realizzato su misura per l'operazione richiesta (e ci  comporta costi aggiuntivi) per poi non essere pi  utilizzato, in quanto adatto esclusivamente alla specifica operazione per la quale   stato ideato.

In secondo luogo la modalit  di lifting pu  dipendere dal tipo di configurazione delle slings (o le grommets), che possono essere principalmente di tre tipi (Figura 6.1):

- configurazione verticale: ha il vantaggio di non trasmettere alla struttura della section da sollevare nessun tipo di sollecitazione orizzontale;
- configurazione a v: consente di limitare le rotazioni del carico lungo una direzione;
- configurazione a piramide: consente di limitare le rotazioni del carico lungo due direzioni.

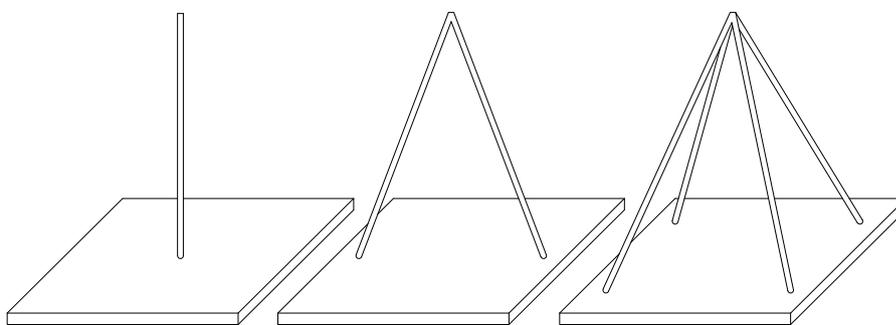


Figura 6.1: Slings or grommets configurations

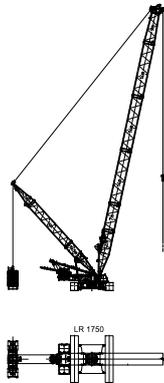
Infine in Figura L.3 di pagina 160 si può osservare il lifting arrangement relativo alla section 2 per la quale è stato conveniente adottare una configurazione a v munita di spreader bar per assorbire le sollecitazioni orizzontali.

Possiamo riassumere che le più comuni configurazioni di impiego dei mezzi a disposizione per il sollevamento sono:

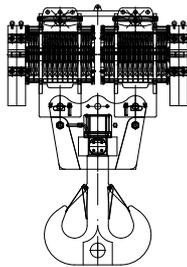
- sollevamento con 1 gru con slings configurate a piramide ed eventuali 4 spreader bar posizionate parallelamente al perimetro della base della piramide;
- sollevamento con 2 gru ognuna con configurazione a v delle slings ed eventuali spreader bar;
- sollevamento con 3 gru, una gru con configurazione a v delle slings ed eventuale spreader bar più due gru con configurazione verticale.

6.2 Attrezzatura per il sollevamento

Per effettuare fisicamente la procedura oltre, come é ovvio, alle gru, sono necessari altri oggetti adatti a garantire un idoneo accoppiamento tra il lifting block e la struttura della section in oggetto: a tal proposito facciamo riferimento al particolare in Figura 6.2 di pagina 59 estratto da Figura L.3 di pagina 160 contenente l'arrangement relativo al lifting del lower level deck section 2, poiché per esso si é resa necessaria una configurazione a v, nella quale compaiono tutti gli elementi possibili. Partendo dalla gru e scendendo verso la section, vengono di seguito descritti tutti gli oggetti coinvolti nel sollevamento:



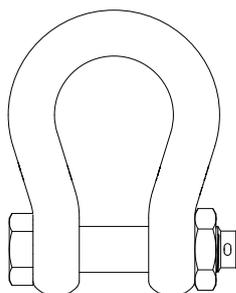
gru: si tratta del mezzo cingolato utilizzato per effettuare il sollevamento; nel caso particolare é riportato il disegno della gru LR 1750 nel quale si possono notare alcuni elementi caratteristici quali il carbody, il derrick, il boom, il counterweight;



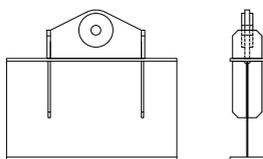
lifting block: sulla sommitá del boom della gru scorre una fune resistente che termina con un gancio denominato lifting block. Al lifting block viene collegata una delle due estremitá delle slings o grommets;



spreader bar: si tratta di una struttura ausiliaria che viene interposta orizzontalmente tra due slings o grommets per assorbire le sollecitazioni orizzontali evitando che esse vengano trasmesse alla struttura. Le sollecitazioni orizzontali sono particolarmente pericolose per la struttura della section poiché sono di compressione e possono causare instabilità per carico di punta;



shackle: altrimenti denominato green pin, è un membro in acciaio pieno e ricurvo a formare una U. Utile per garantire l'ideale accoppiamento tra slings e padeye;



padeye: costituisce l'elemento più importante nelle operazioni di sollevamento. Il padeye è un elemento dalle caratteristiche strutturali notevolmente elevate in quanto durante il sollevamento deve sopportare tutto il peso della section in oggetto mentre essa si trova sospesa: esso viene saldato con grande cura e precisione alla struttura della section. Il foro ospita il pin dello shackle al quale sono collegate le slings.

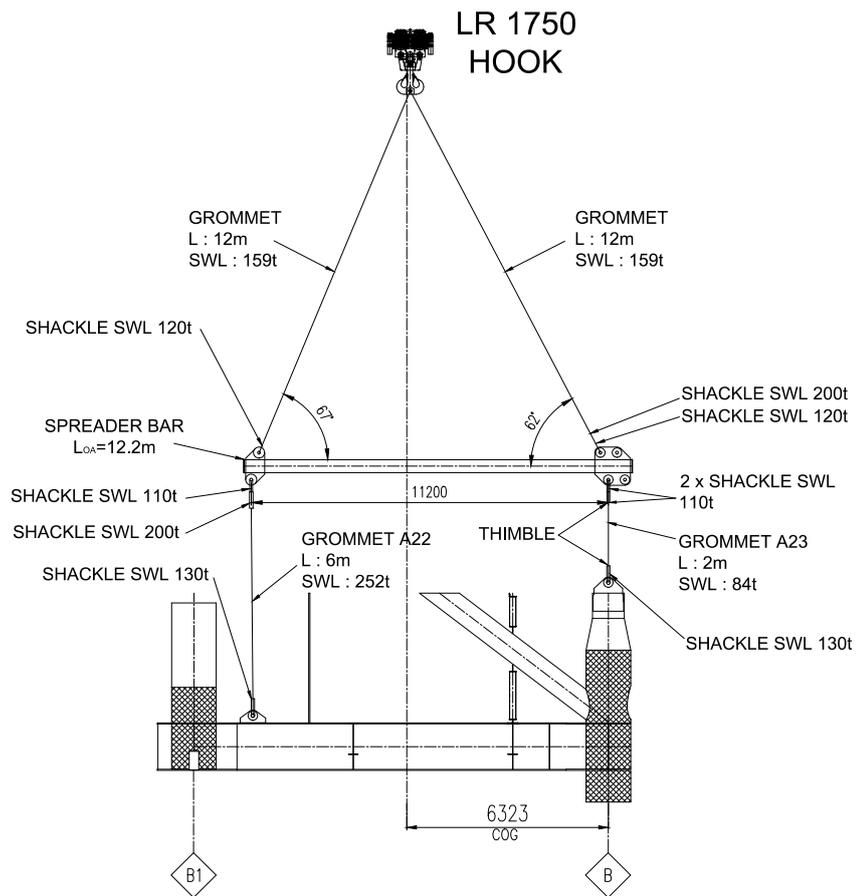


Figura 6.2: Lifting elements example

6.3 Section 1 - Lifting

Lo studio della procedura di lifting deve avvenire seguendo ordinatamente gli steps dello studio di fattibilità descritti di seguito in modo tale da evitare analisi superflue. Il primo passo da compiere consiste in due scelte che devono essere effettuate parallelamente poiché strettamente dipendenti: determinazione delle posizioni dei padeyes e scelta del numero di gru da impiegare. Durante questa fase vengono effettuati più tentativi per la determinazione dei punti in cui verranno saldati i padeyes, infatti:

- il numero di gru scelto per il sollevamento influenza la posizione dei padeyes;
- le porzioni di peso proprio della section che si ripartiscono sui padeyes influenza il tipo di gru impiegate.

6.3.1 Ipotesi di posizionamento dei padeyes

Affinché non avvengano rotazioni della section durante il sollevamento è necessario fare in modo che l'asse verticale passante per il lifting block sia, in prospettiva, il più possibile coincidente con l'asse verticale passante per il baricentro: un esempio di arrangement ben progettato si può osservare in Figura 6.3.

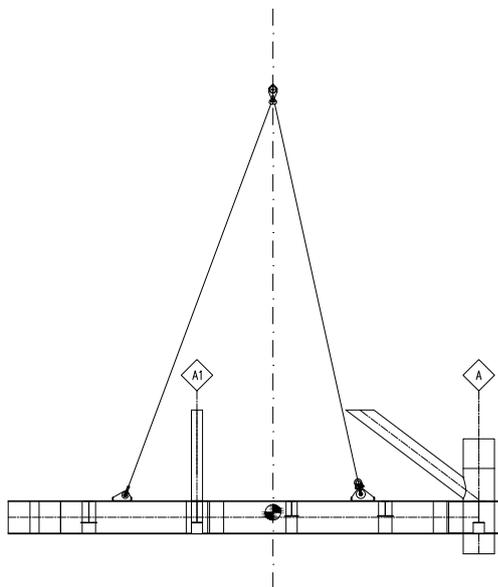


Figura 6.3: Good arrangement example

In Figura 6.4 é invece possibile osservare un arrangement mal progettato, in cui é stata esaperata la non coincidenza tra l'asse verticale per il lifting block e l'asse verticale per il baricentro e la conseguente rotazione della section sospesa.

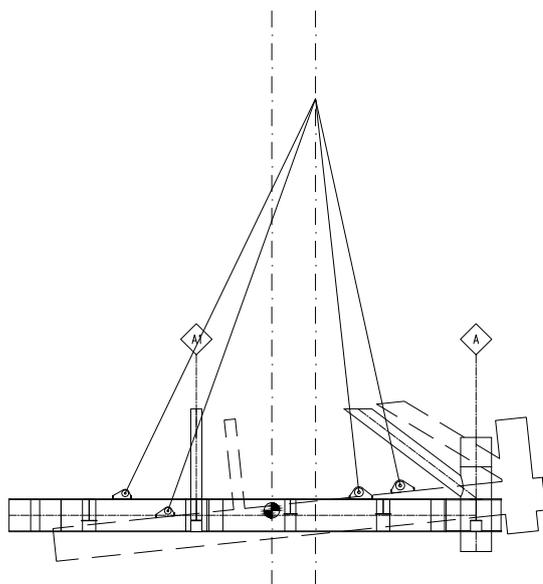


Figura 6.4: Bad arrangement example

Per prima cosa é necessario conoscere quali saranno il tipo di slings o grommets che verranno utilizzate per il sollevamento: questa scelta deve essere effettuata tentando di impiegare le funi già acquistate in precedenza ed evitare di acquistarne altre. Nel caso del tiro a v della section 1 vengono impiegate due grommets con le seguenti caratteristiche:

- grommet swl = 159 t $L = 18.5\ m$ $D = 90\ mm$;
- grommet swl = 159 t $L = 17.0\ m$ $D = 90\ mm$;

Si osserva che la lunghezza delle grommets differisce di 1.5 m: questa differenza porterá ad una diversa distanza dei padeyes dall'asse verticale passante per il baricentro.

Per la determinazione delle posizioni dei padeyes facciamo riferimento allo schema di Figura 6.5 in cui compaiono i seguenti termini:

- H : posizione del lifting block;
- A, B : posizioni dei padeyes;

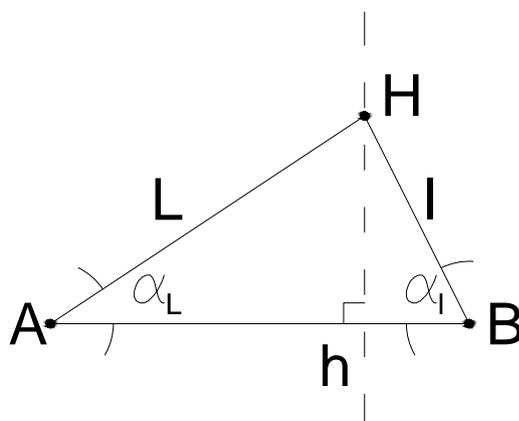


Figura 6.5: Padeyes positions scheme

- \overline{Hh} : asse verticale passante per il baricentro della section in oggetto;
- L : lunghezza della sling o grommet piú lunga;
- l : lunghezza della sling o grommet piú corta;

La normativa specifica che:

$$\alpha_L^{min} = 60^\circ$$

Inoltre, affinché la configurazione sia fisicamente realizzabile deve valere:

$$\overline{Hh} \leq l$$

Riassumendo:

$$\begin{cases} \overline{Hh} \leq l \\ \overline{Hh} \geq L \sin(\alpha_L^{min}) \end{cases} \rightarrow L \sin(\alpha_L^{min}) \leq \overline{Hh} \leq l$$

Quanto esposto indica che l'altezza del lifting block rispetto al top of steel della section in oggetto può variare nell'intervallo ottenuto: in questo modo l'angolo minore si mantiene sempre al di sopra del valore minimo imposto. Il risultato dello studio di posizionamento dei padeyes ha prodotto il risultato di Figura 6.6.

Le problematiche legate alla determinazione delle posizioni dei padeyes nei casi di tiro verticale sono minori in quanto non è necessario risolvere il problema dell'allineamento tra lifting block e baricentro. L'unico accorgimento che è opportuno prendere è quello di posizionare i padeyes con tiro verticale ad una distanza dal baricentro tale che il peso proprio della struttura si ripartisca in modo proporzionale alle prestazioni della gru che lo deve sopportare.

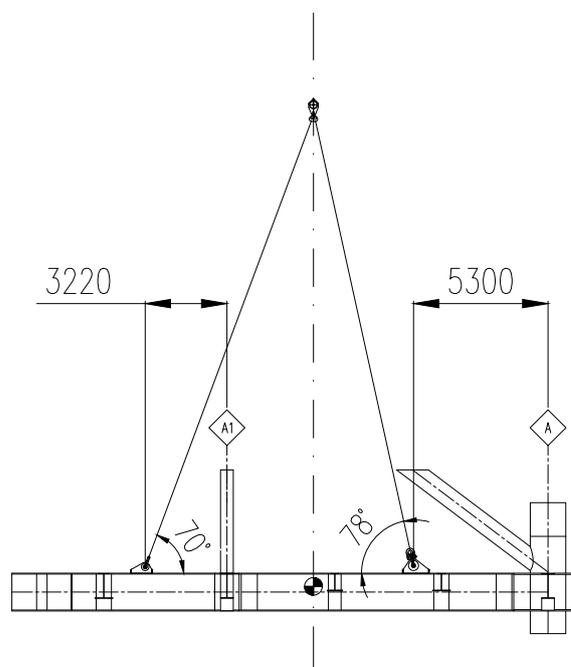


Figura 6.6: Padeyes positions

6.3.2 Determinazione dei carichi sui padeyes

Per la determinazione delle porzioni di carico che la struttura, una volta in sospensione, ripartisce in corrispondenza dei punti di lifting, si effettua una simulazione SAP2000. I risultati ottenuti effettuando la simulazione si possono osservare in Figura I.5 a pagina 138.

6.3.3 Scelta delle gru per il sollevamento

Facendo riferimento al particolare di Figura 6.7 estratto da Figura I.3 a pagina 136,

si può osservare che la configurazione delle gru viene definita tramite due quote ed una tabella. Le quote indicate sono:

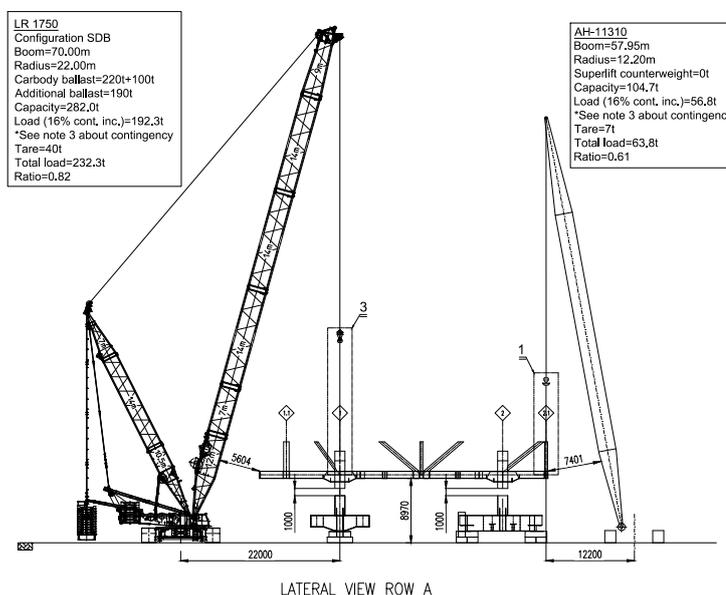


Figura 6.7: Arrangement detail

- la distanza orizzontale tra l'asse del carbody ed un asse della struttura del level da movimentare;
- la distanza minima tra il boom della gru e la parte di struttura più vicina ad esso.

Con le due quote indicate è possibile definire la posizione relativa della gru rispetto al level e controllare che la distanza boom-structure non sia troppo ridotta da indurre rischi durante la procedura.

Facendo riferimento alla Figura 6.8

si possono osservare la compilazione di diversi campi che indicano rispettivamente:

- LR 1750: il nome della gru impiegata per il lifting nel particolare punto considerato;
- Configuration SDB: indica che il tipo di configurazione da adottare è appunto SDB. Ogni gru presenta diversi tipi di configurazione in base agli elementi che vengono montati, alla lunghezza del boom ed alla sua geometria. Nel caso in oggetto la configurazione indica la presenza di boom monobraccio, un derrick ed un contrappeso;
- Boom: lunghezza del braccio della gru;

LR 1750
Configuration SDB
Boom=70.00m
Radius=22.00m
Carbody ballast=220t+100t
Additional ballast=190t
Capacity=282.0t
Load (16% cont. inc.)=192.3t
*See note 3 about contingency
Tare=40t
Total load=232.3t
Ratio=0.82

Figura 6.8: LR 1750 table detail

- Radius: distanza orizzontale tra l'asse del carbody ed il lifting block;
- Carbody ballast: massa del carbody, ovvero dei cingoli e delle parti sovrastanti;
- Additional ballast: massa del contrappeso collegato al derrick;
- Capacity: massimo carico che può essere applicato al boom della gru in condizioni di sicurezza; La capacity viene ottenuta dal manuale della gru e dipende dal tipo di configurazione e dal raggio;
- Load: rappresenta la porzione di peso che la section ripartisce in corrispondenza della gru in oggetto incrementato del 16% in modo tale da considerare il peso di elementi non calcolati quali la massa aggiuntiva in seguito ai trattamenti di fire-proofing e painting;
- Tare: massa delle grommets e del lifting block;
- Total load: somma di Load e Tare;
- Ratio: rapporto tra Total load e Capacity;

Le tabelle devono essere compilate per ogni gru coinvolta nel sollevamento in modo da definire univocamente la modalità di utilizzo.

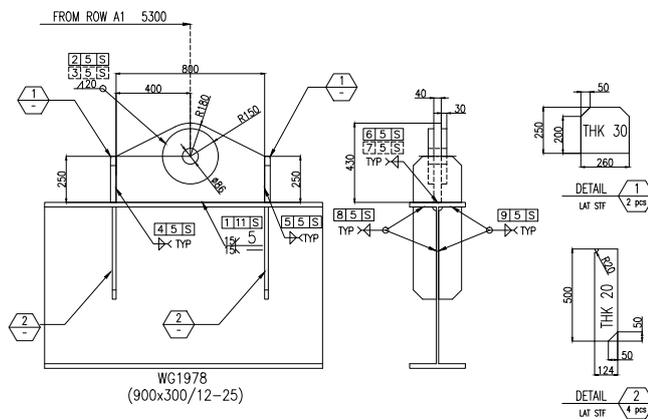
6.3.4 Progetto dei padeyes

Per il dimensionamento ottimale è opportuno considerare due variabili:

- l'entità della porzione di carico che il padeye in oggetto dovrà sopportare;
- la configurazione verticale, a v od a piramide delle grommets ad esso accoppiate.

L'importanza della prima variabile è immediata: maggiore è l'entità della porzione di carico che compete al generico padeye, maggiori dovranno essere le caratteristiche strutturali dello stesso e della saldatura che lo accoppia con la struttura della section.

L'importanza della seconda variabile è più fine: se ad esempio la configurazione delle grommets è del tipo a v, come si può vedere in Figura I.1 a pagina 134, allora il padeye sarà sottoposto ad un carico con componenti verticale ed orizzontale non nulle. Facendo riferimento alla medesima figura si osserva che i padeyes delle gru con tiro verticale sono perfettamente simmetrici rispetto ad un asse verticale passante per il centro del foro (Figura 6.9).



DETAIL 4 MARK WFME035

Figura 6.9: Vertical lifting padeye example

Quanto appena detto non succede per i padeyes relativi al tiro a v (Figura 6.10)

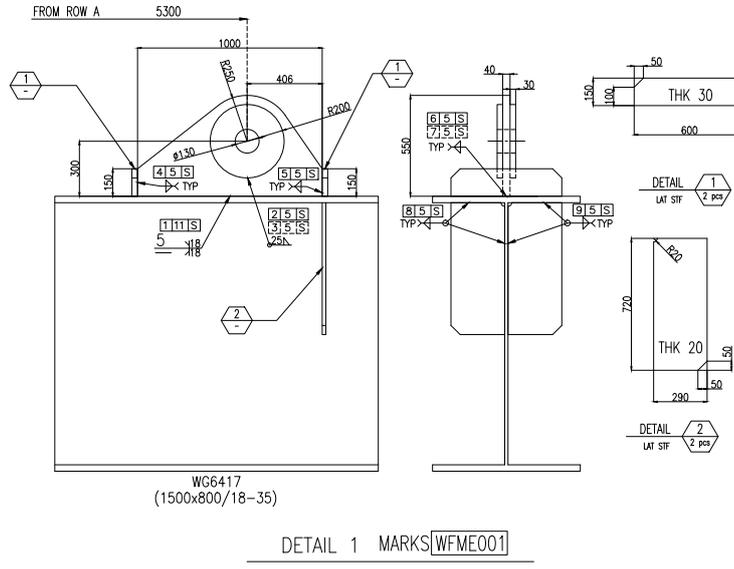


Figura 6.10: v lifting padeye example

La motivazione va ricercata nel fatto che il foro del padeye é stato spostato dalla mezzeria in modo tale che il prolungamento della retta d'azione del carico trasmesso al padeye (ovvero l'asse della grommet) passi per il baricentro del giunto che salda il padeye alla trave della section. Se la retta d'azione del vettore forza passa per il baricentro della saldatura, allora non possono generarsi tensioni da momento flettente che solitamente costituiscono la caratteristica della sollecitazione piú critica per le strutture: con un semplice accorgimento é possibile migliorare notevolmente la resistenza strutturale.

Facendo riferimento a Figura 6.11, é possibile notare parametri che caratterizzano il dimensionamento di un padeye:

- t_L : spessore del mainplate;
- t_c : spessore del cheekplate;
- w_L : spessore della saldatura tra mainplate e cheekplate;
- D : diametro dei cheekplate;
- d : diametro del foro.

La progettazione dei padeyes viene effettuata seguendo le linee guida del Lloyd's register of shipping [4]. Dopo aver scelto le dimensioni di t_L , w_L , t_c si calcolano i seguenti valori:

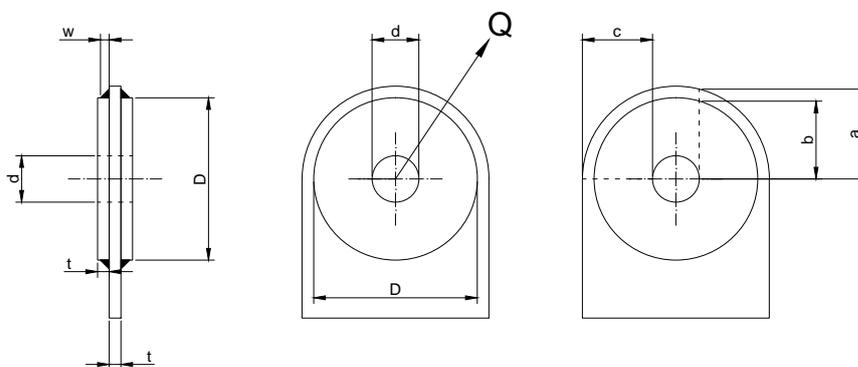


Figura 6.11: Main padeyes factors

$$t_E = \min \left(\frac{t_L}{2}, 3w_l, t_c \right)$$

$$\bar{t} = t_L + 2t_E$$

a questo punto é necessario determinare la dimensione di d in modo tale che:

$$\begin{cases} \bar{t} \leq d \leq 8\bar{t} \\ d_p \leq d \leq 1.05d_p \end{cases}$$

dove d_p indica il diametro del pin dello shackle che sarà impiegato nel padeye in oggetto. Le verifiche da fare sul padeye sono di due tipi: la verifica della saldatura tra mainplate e cheekplate e la verifica di resistenza del materiale di cui il padeye é composto. Per quanto riguarda la saldatura tra mainplate e cheekplate si procede come segue:

$$F_s = \frac{t_c}{t_L + 2t_c} Q$$

$$A_s = \frac{\pi D}{2} w_L$$

$$\tau_s = \frac{C_s}{\sqrt{2}/2} F_s$$

dove C_s indica il coefficiente di sicurezza che é pari a 2.

Per quanto riguarda la verifica del materiale di cui il padeye é costituito:

$$\begin{cases} Q \leq 0.6S_y (at_L + 2bt_e) \\ Q \leq 1.08S_y [ct_L + (D - d)t_E] \\ Q \leq 0.87S_y d (t_L + 2t_E) \end{cases}$$

dove S_y indica la tensione ammissibile del materiale di cui il padeye é formato. Nelle immagini che vanno da Figura I.8 di pagina 141 a Figura I.10 di pagina 143 sono riportati i risultati del dimensionamento e verifica dei padeyes relativi alla movimentazione del lower level deck section 1: la verifica é stata effettuata con un foglio di calcolo in ambiente Excel.

6.3.5 Verifica del giunto saldato

In relazione al lifting del lower level deck section 1, vengono di seguito riportati i calcoli manuali di verifica strutturale del giunto saldato tra padeyes e travi della struttura primaria della section. Non sono stati riportati i calcoli di verifica relativi alla saldatura tra trave e padeye type 4 in quanto presenta le medesime caratteristiche geometriche del type 3, ma é sollecitato con minore intensitá.

6.3.6 Padeye type 1

Padeye weld check

$$Load = 108.4 \cdot 1.50 = 162.6 t$$

$$H = 162.6 \cdot \cos(78^\circ) = 33.8 t$$

$$V = 162.6 \cdot \sin(78^\circ) = 159.0 t$$

$$M = (159.0 \cdot 94) - (33.8 \cdot 300) = 4806 tmm$$

$$f_H = \frac{33.8 \cdot 9810}{1000 \cdot 35} = 9.5 MPa$$

$$f_V = \frac{159.0 \cdot 9810}{1000 \cdot 35} = 44.6 MPa$$

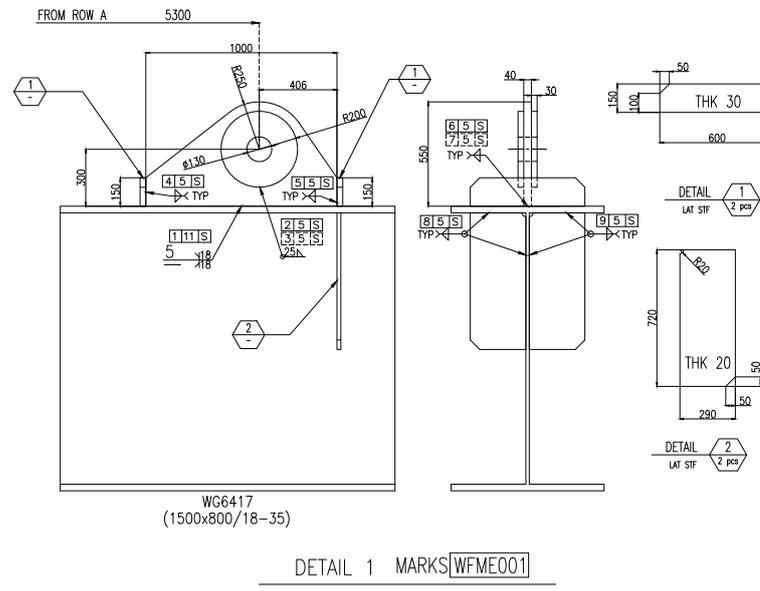


Figura 6.12: Padeye type 1

$$f_M = \frac{4806 \cdot 9810}{\frac{1}{12} \cdot 1000^3 \cdot 35} \cdot \frac{1000}{2} = 8.1 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{(44.6 + 8.1)^2 + 9.5^2} = 53.5 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$53.5 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

$$N = \frac{162.2 \cdot 5}{100} = 8.1 \text{ t}$$

$$M_o = 8.1 \cdot 365 = 2957 \text{ tmm}$$

$$f_N = \frac{8.1 \cdot 9810 \cdot \frac{594}{1000}}{30 \cdot 600} = 2.6 \text{ MPa}$$

$$f_{M_o} = \frac{2957 \cdot 9810 \cdot \frac{594}{1000}}{\frac{1}{12} \cdot 600^3 \cdot 30} \cdot \frac{600}{2} = 9.6 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{2.6^2 + 9.6^2} = 9.9 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$9.9 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

The welds relevant to padeye and its stiffeners are verified.

Plate girder weld check

$$f_H = \frac{33.8 \cdot 9810}{1000 \cdot 18} = 18.4 \text{ MPa}$$

$$f_V = \frac{159.0 \cdot 9810}{1000 \cdot 18} = 86.7 \text{ MPa}$$

$$f_M = \frac{4806 \cdot 9810}{\frac{1}{12} \cdot 1000^3 \cdot 18} \cdot \frac{1000}{2} = 15.7 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{(86.7 + 15.7)^2 + 18.4^2} = 104.0 \text{ MPa}$$

$$F_{all} = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$104.0 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

The plate girder welds are verified.

6.3.7 Padeye type 2

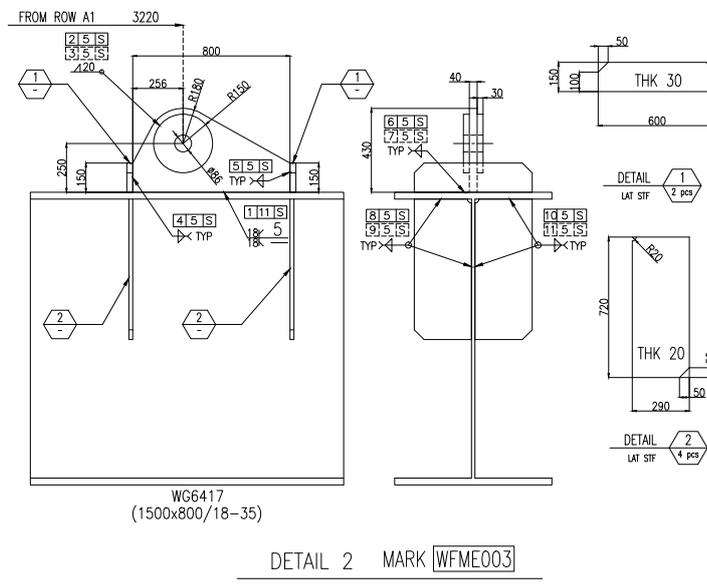


Figura 6.13: Padeye type 2

Padeye weld check

$$Load = 64.1 \cdot 1.50 = 96.2 \text{ t}$$

$$H = 96.2 \cdot \cos(70^\circ) = 32.9 \text{ t}$$

$$V = 96.2 \cdot \sin(70^\circ) = 90.4 \text{ t}$$

$$M = (90.4 \cdot 144) - (32.9 \cdot 250) = 4793 \text{ tmm}$$

$$f_H = \frac{32.9 \cdot 9810}{800 \cdot 35} = 11.5 \text{ MPa}$$

$$f_V = \frac{90.4 \cdot 9810}{800 \cdot 35} = 31.7 \text{ MPa}$$

$$f_M = \frac{4793 \cdot 9810}{\frac{1}{12} \cdot 800^3 \cdot 35} \cdot \frac{800}{2} = 12.6 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{(31.7 + 12.6)^2 + 11.5^2} = 45.8 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$45.8 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

$$N = \frac{96.2 \cdot 5}{100} = 4.8 \text{ t}$$

$$M_o = 4.8 \cdot 293 = 1406 \text{ tmm}$$

$$f_N = \frac{4.8 \cdot 9810 \cdot \frac{544}{800}}{30 \cdot 600} = 1.8 \text{ MPa}$$

$$f_{M_o} = \frac{1406 \cdot 9810 \cdot \frac{544}{800}}{\frac{1}{12} \cdot 600^3 \cdot 30} \cdot \frac{600}{2} = 5.2 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{1.8^2 + 5.2^2} = 5.5 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$5.5 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

The welds relevant to padeye and its stiffeners are verified.

Padeye weld check

$$Load = 40.9 \cdot 1.50 = 61.4 \text{ t}$$

$$V = 61.4 \cdot \sin(90^\circ) = 61.4 \text{ t}$$

$$f_V = \frac{61.4 \cdot 9810}{800 \cdot 25} = 30.1 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$30.1 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

$$N = \frac{61.4 \cdot 5}{100} = 3.1 \text{ t}$$

$$M_o = 3.1 \cdot 293 = 908 \text{ tmm}$$

$$f_N = \frac{3.1 \cdot 9810 \cdot \frac{400}{800}}{25 \cdot 260} = 2.3 \text{ MPa}$$

$$f_{M_o} = \frac{908 \cdot 9810 \cdot \frac{400}{800}}{\frac{1}{12} \cdot 260^3 \cdot 25} \cdot \frac{260}{2} = 15.8 \text{ MPa}$$

$$f_{TOT} = \sqrt{2.3^2 + 15.8^2} = 16.0 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$16.0 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

The welds relevant to padeye and its stiffeners are verified.

Plate girder weld check

$$f_V = \frac{61.4 \cdot 9810}{800 \cdot 12} = 62.7 \text{ MPa}$$

$$Fall = 0.4 \cdot 390 = 156 \text{ MPa}$$

$$62.7 < 156 \rightarrow \text{Checked}$$

The plate girder welds are verified.

CAPITOLO 7

Conclusioni

Lo scopo della tesi é stato quello di effettuare lo studio di fattibilit  relative alla realizzazione di un level deck di una fixed off-shore platform e della progettazione di tutte le procedure di movement e lifting. La progettazione é avvenuta in modo tale da:

- garantire la salvaguardia degli operatori che devono eseguire le procedure in cantiere;
- garantire il minor costo produttivo e quindi il massimo profitto;
- garantire procedure eseguibili in modo agevole e nel minor tempo possibile in modo da non causare ritardi nello stato di avanzamento dell'opera;
- garantire il rispetto delle normative stabilite contrattualmente.

Va inoltre precisato che le fasi di studio sono avvenute a diretto contatto con gli operatori di cantiere a cui é stato utile chiedere consigli per la soluzione di problematiche a livello esecutivo. La costruzione del level, i trattamenti di fire-proofing e painting, l'esecuzione di movement e lifting sono stati effettuati con successo e senza incidenti, di conseguenza si pu  concludere affermando che gli obiettivi sono stati rispettati.

APPENDICE A

Yard layout

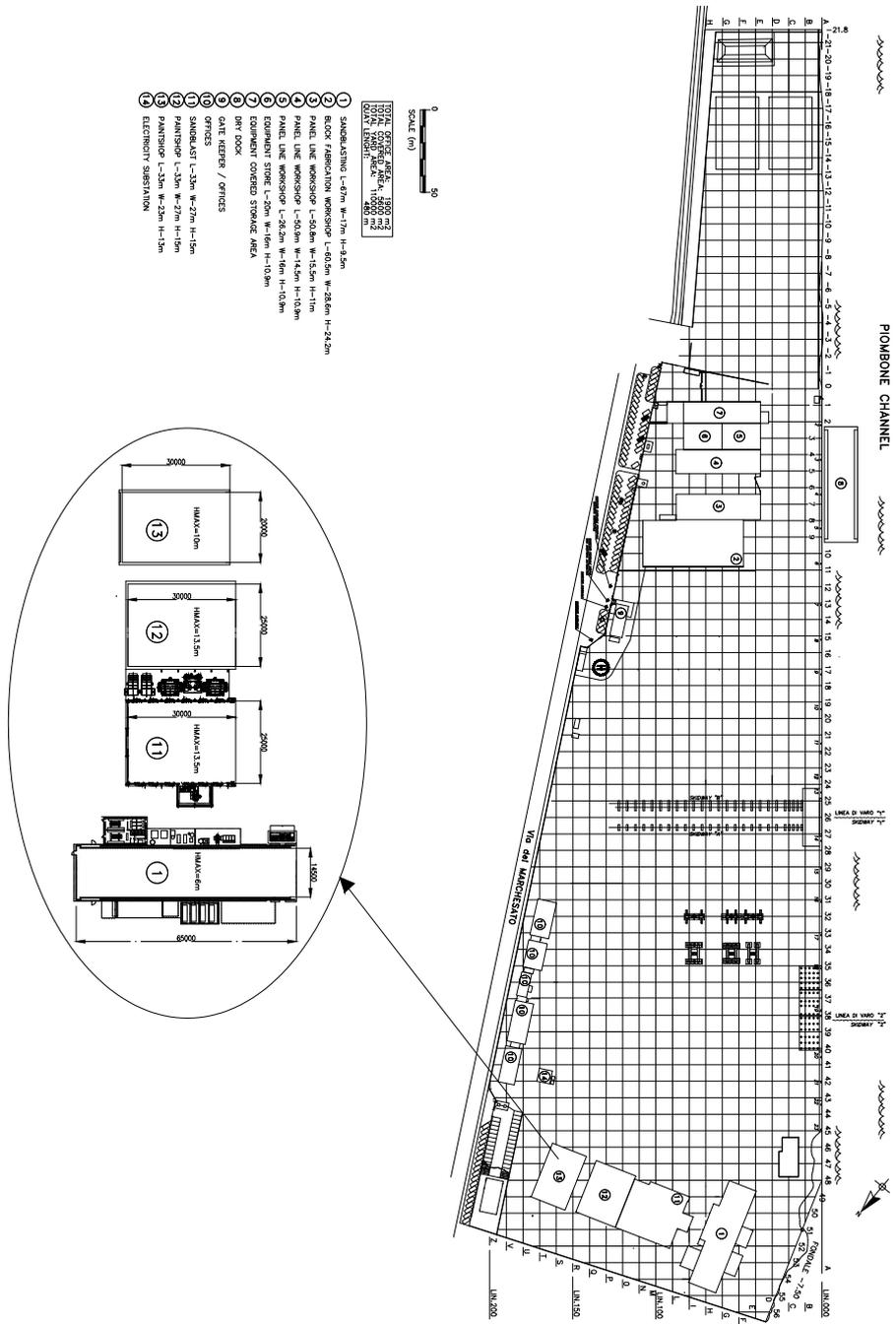


Figura A.1: Yard layout - Plan view

APPENDICE B

Upper grillages

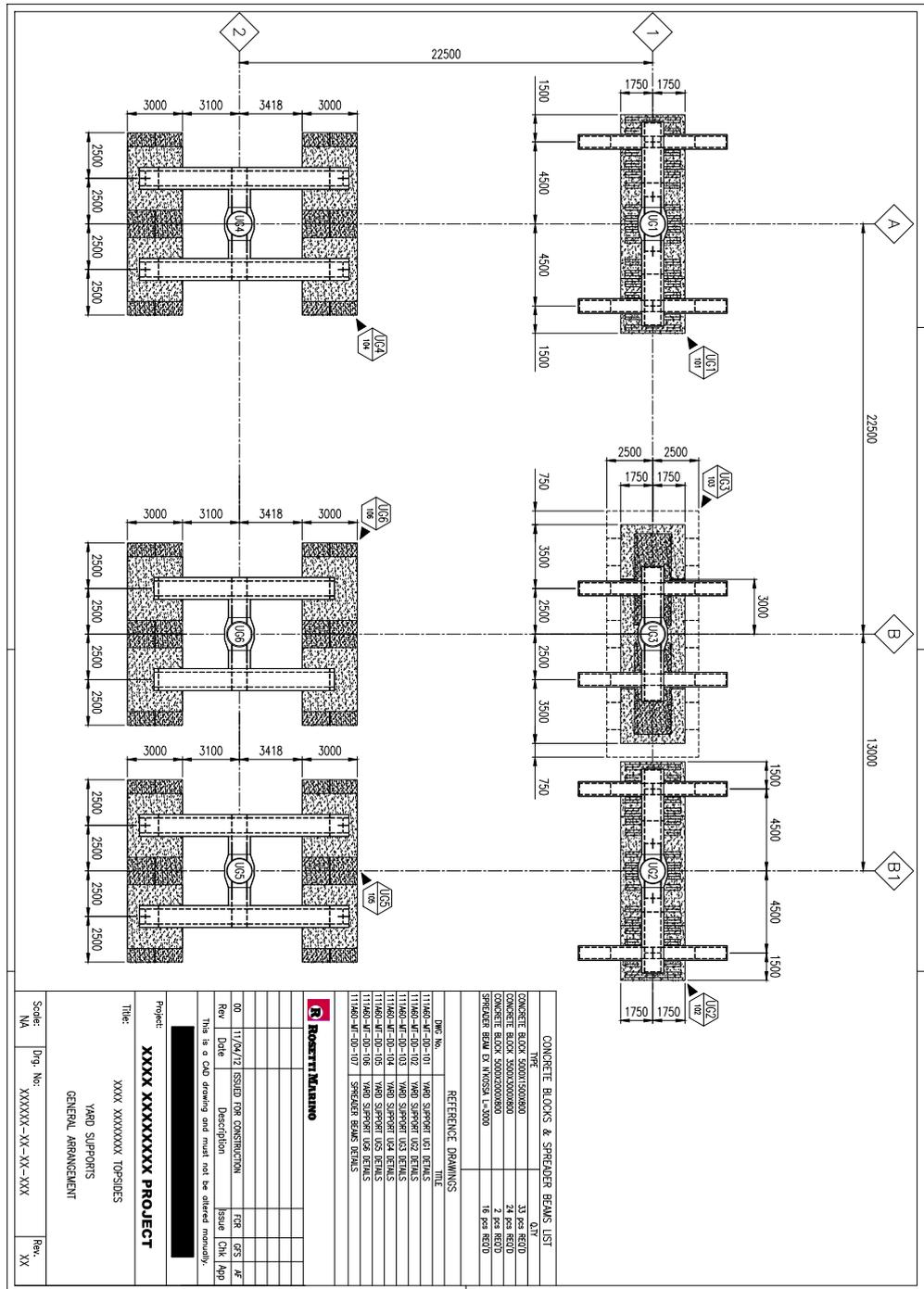


Figura B.1: Upper grillages - General arrangement

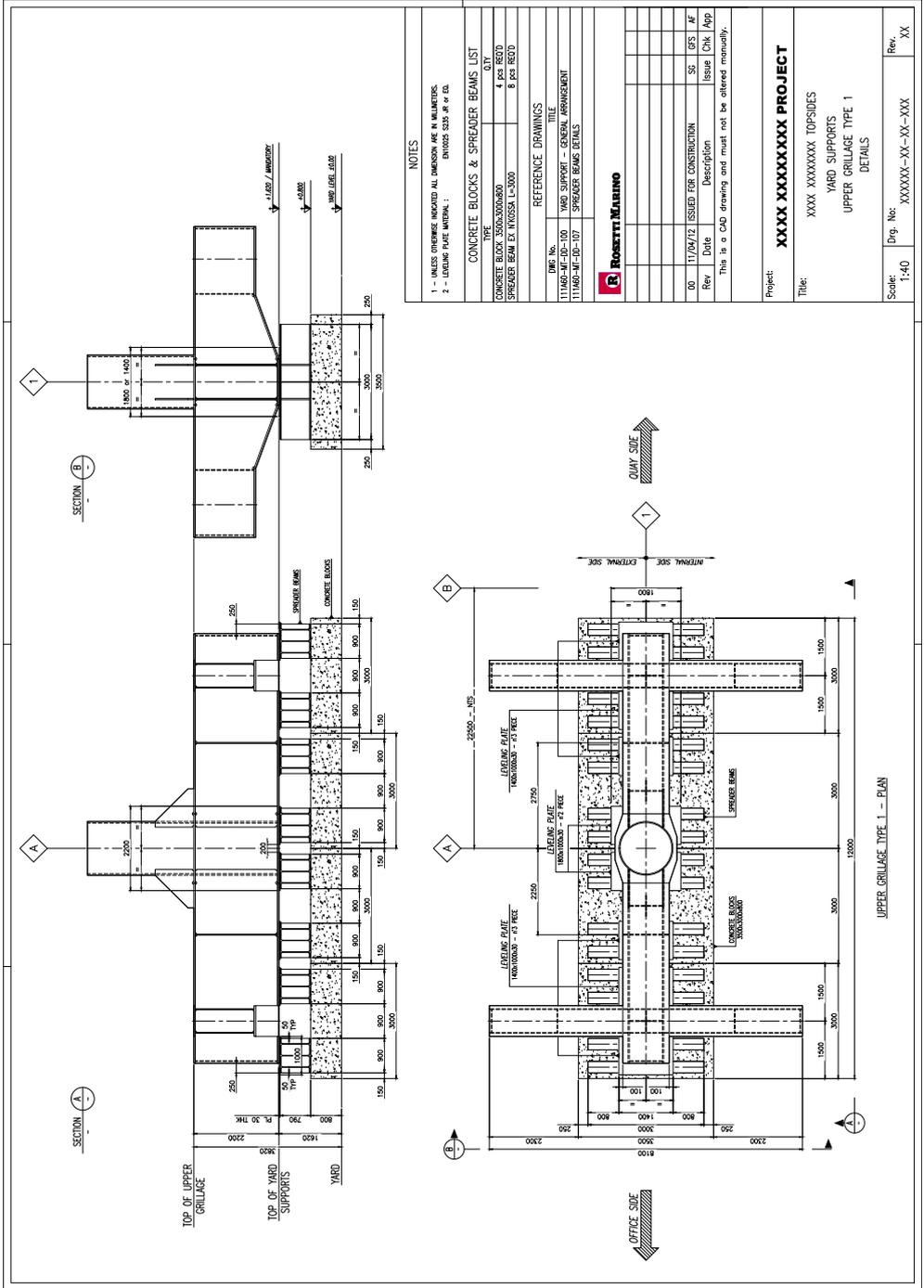


Figura B.2: Upper grillage type 1 - Details

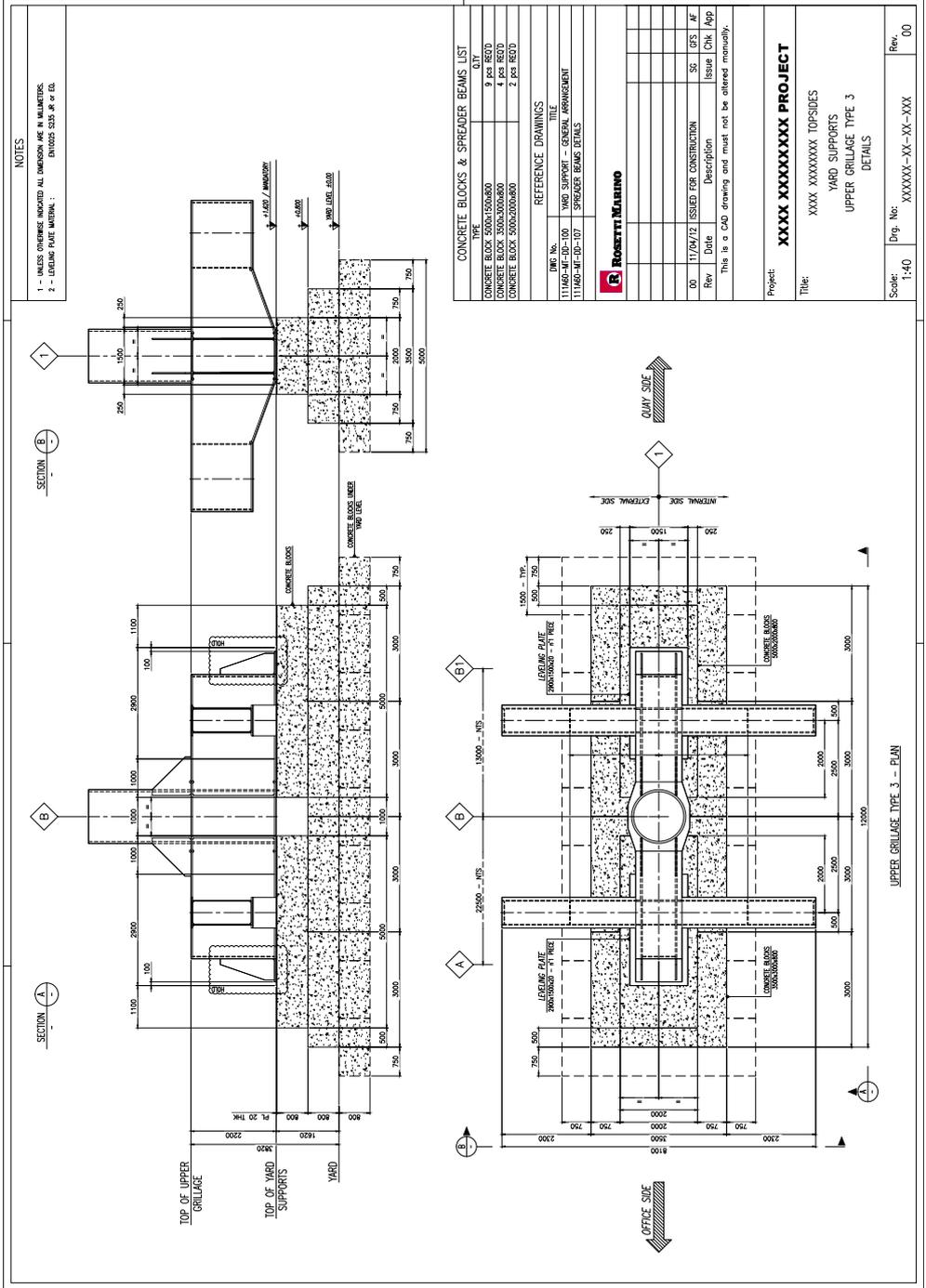


Figure B.4: Upper grillage type 3 - Details

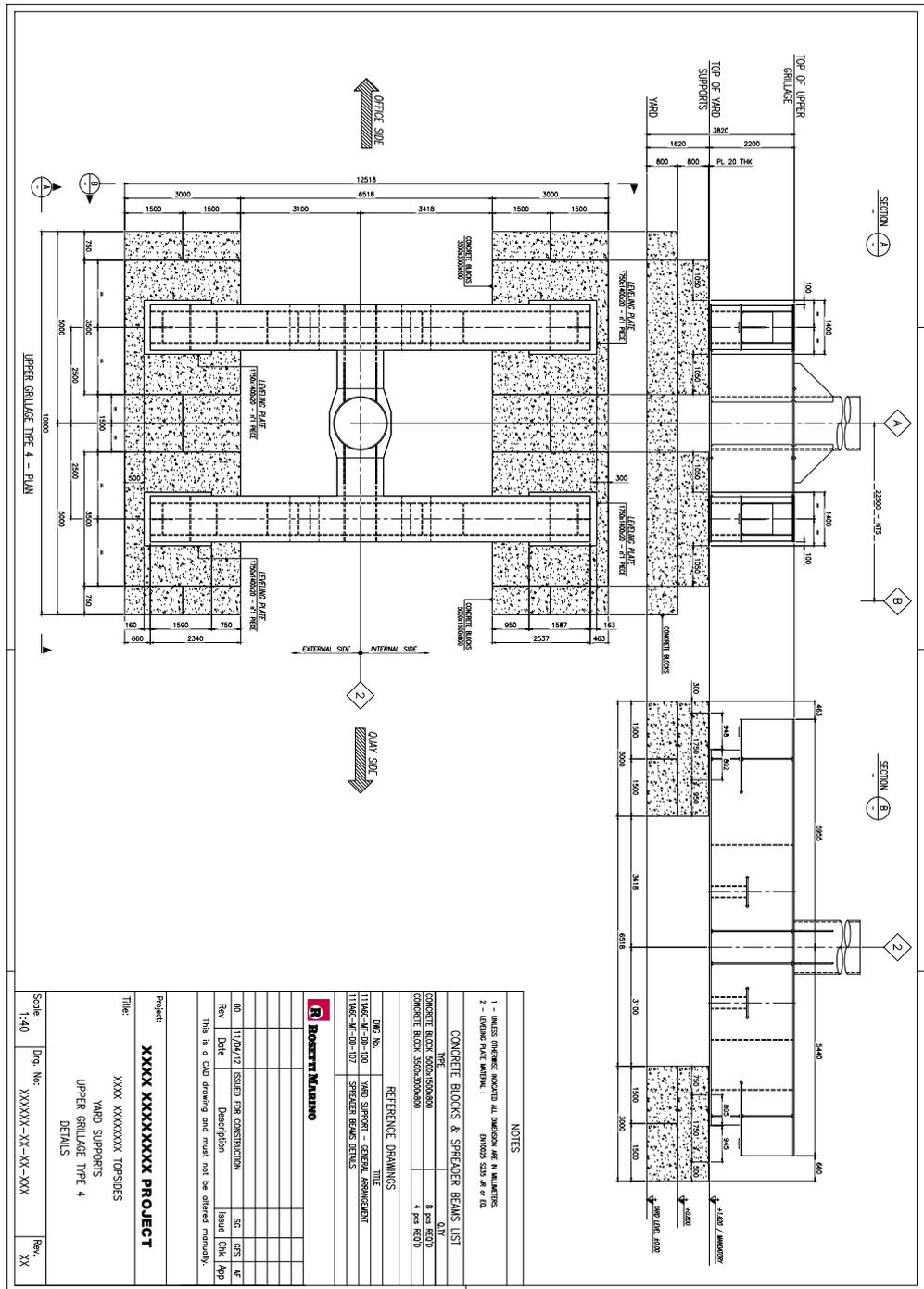


Figura B.5: Upper grillage type 4 - Details

APPENDICE C

Dettagli accoppiamenti

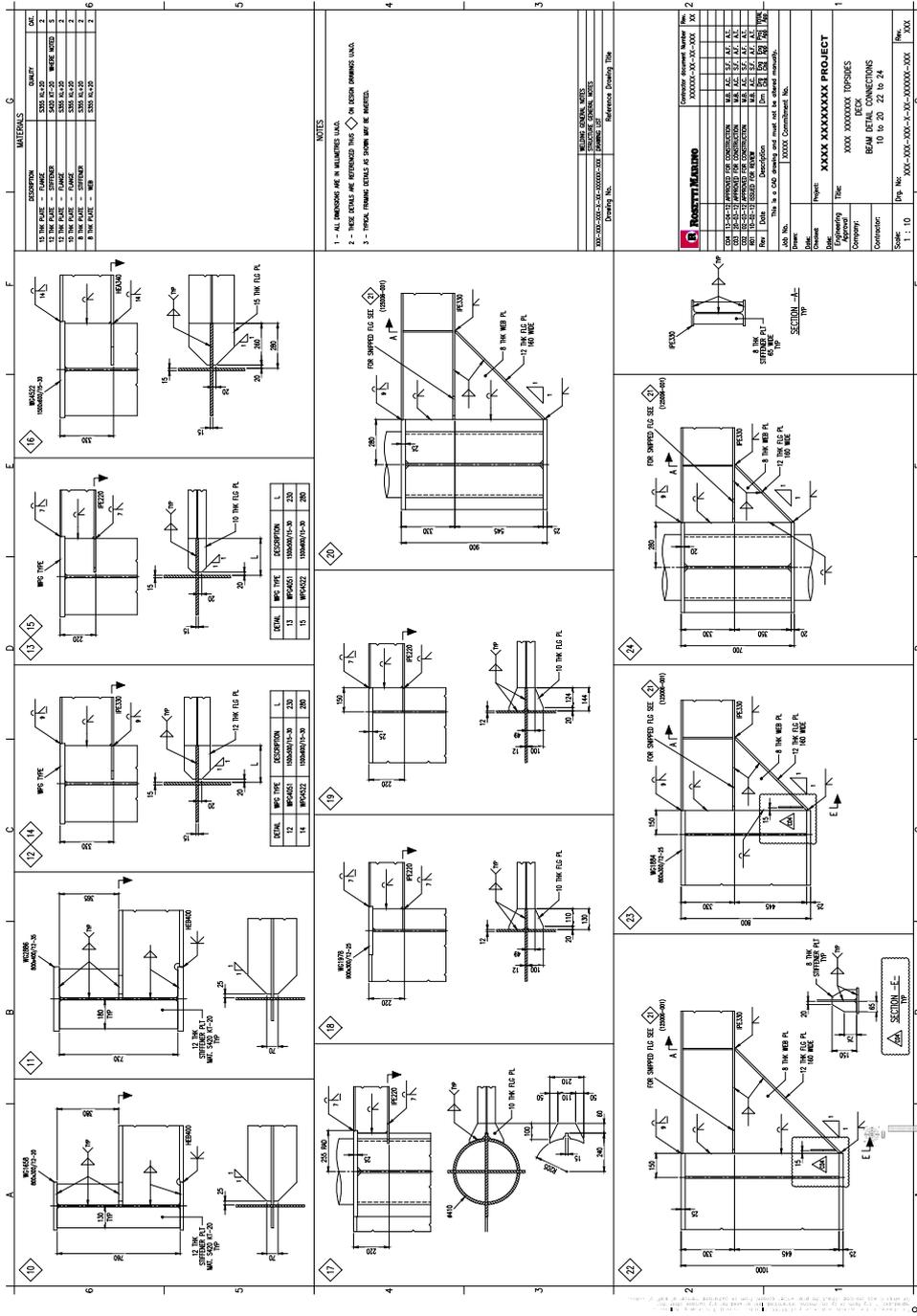


Figure C.2: Beam detail connections 10 to 20, 22 to 24

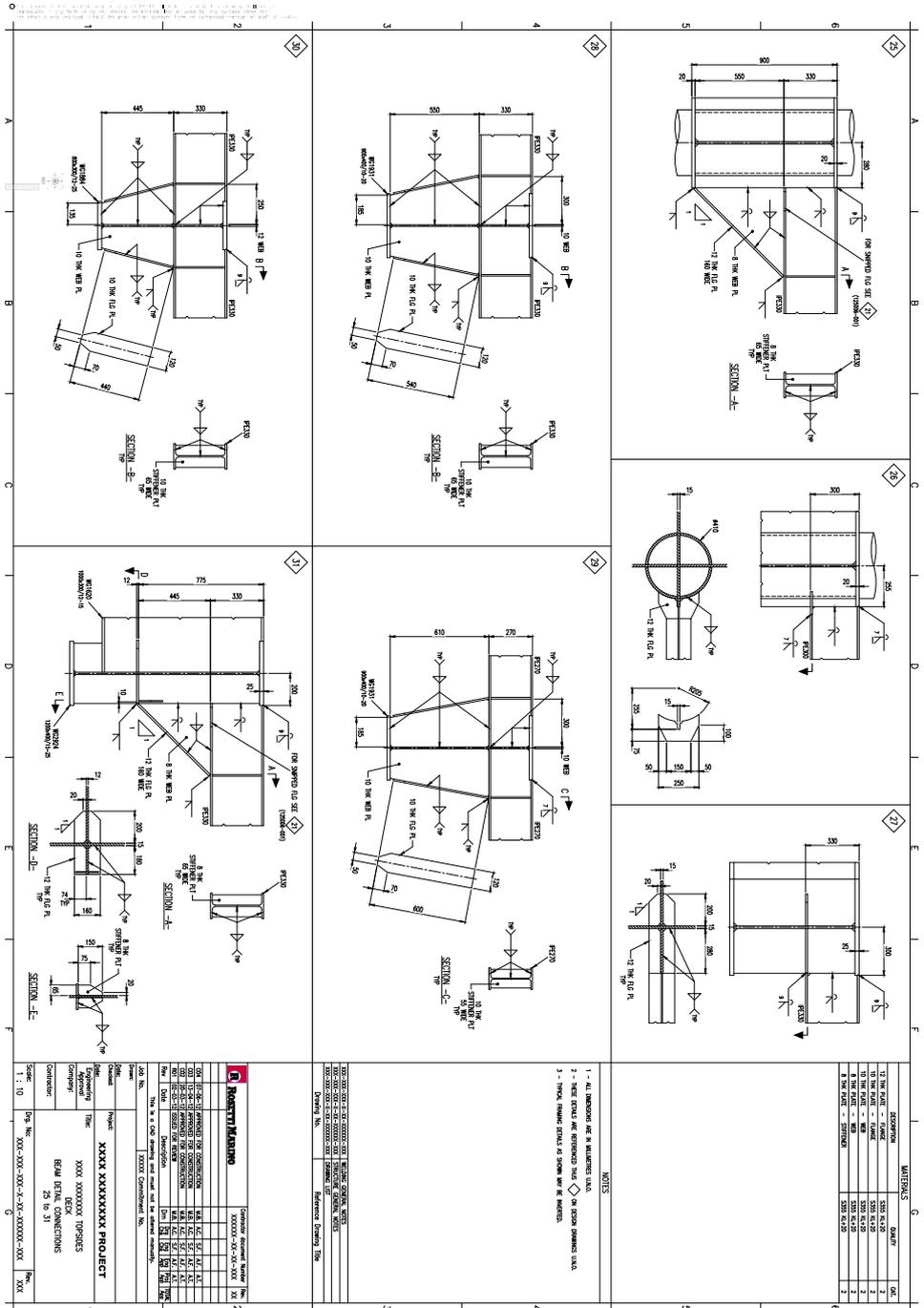


Figura C.3: Beam detail connections 25 to 31

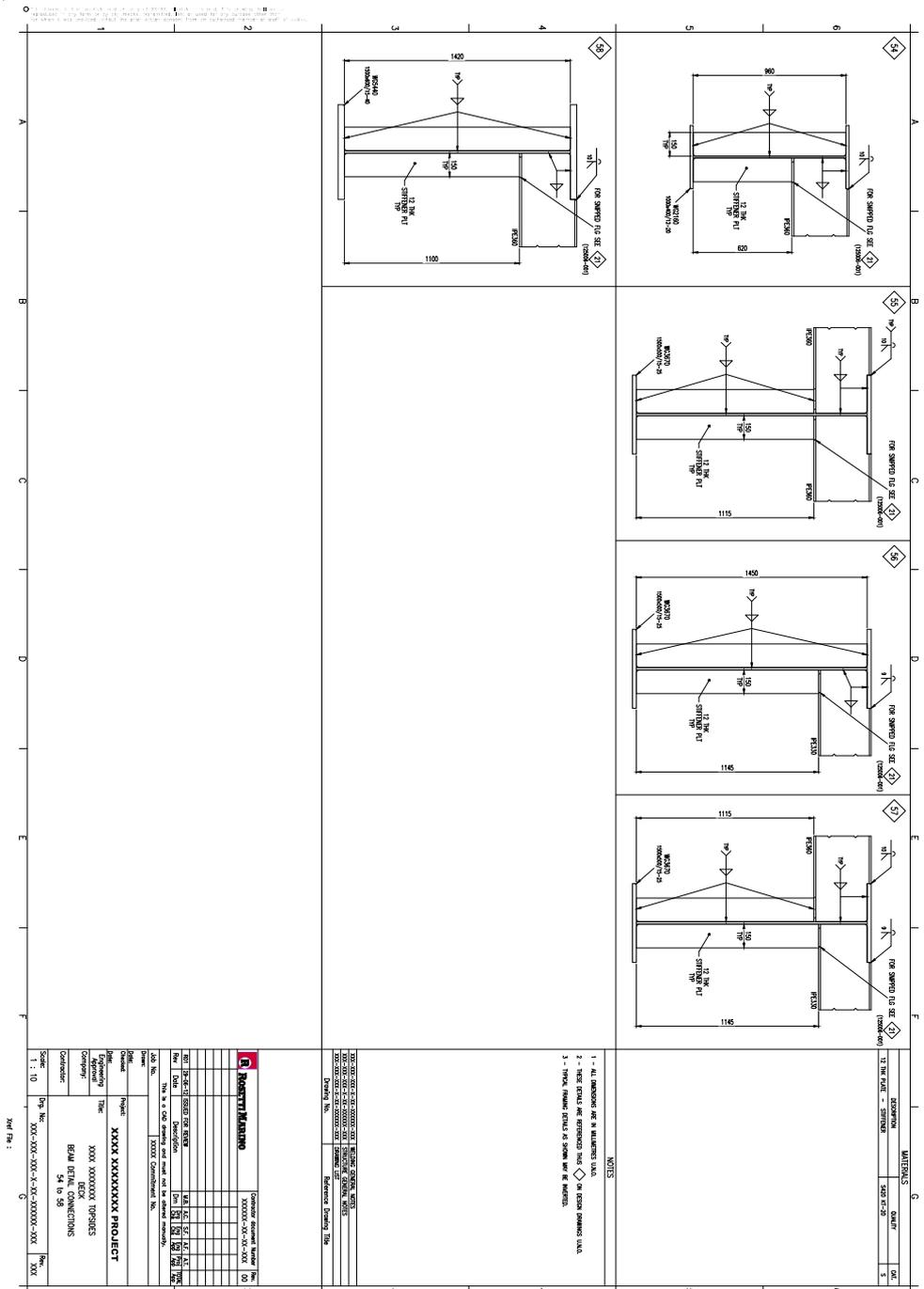


Figura C.7: Beam detail connections 54 to 58

APPENDICE D

Project drawings

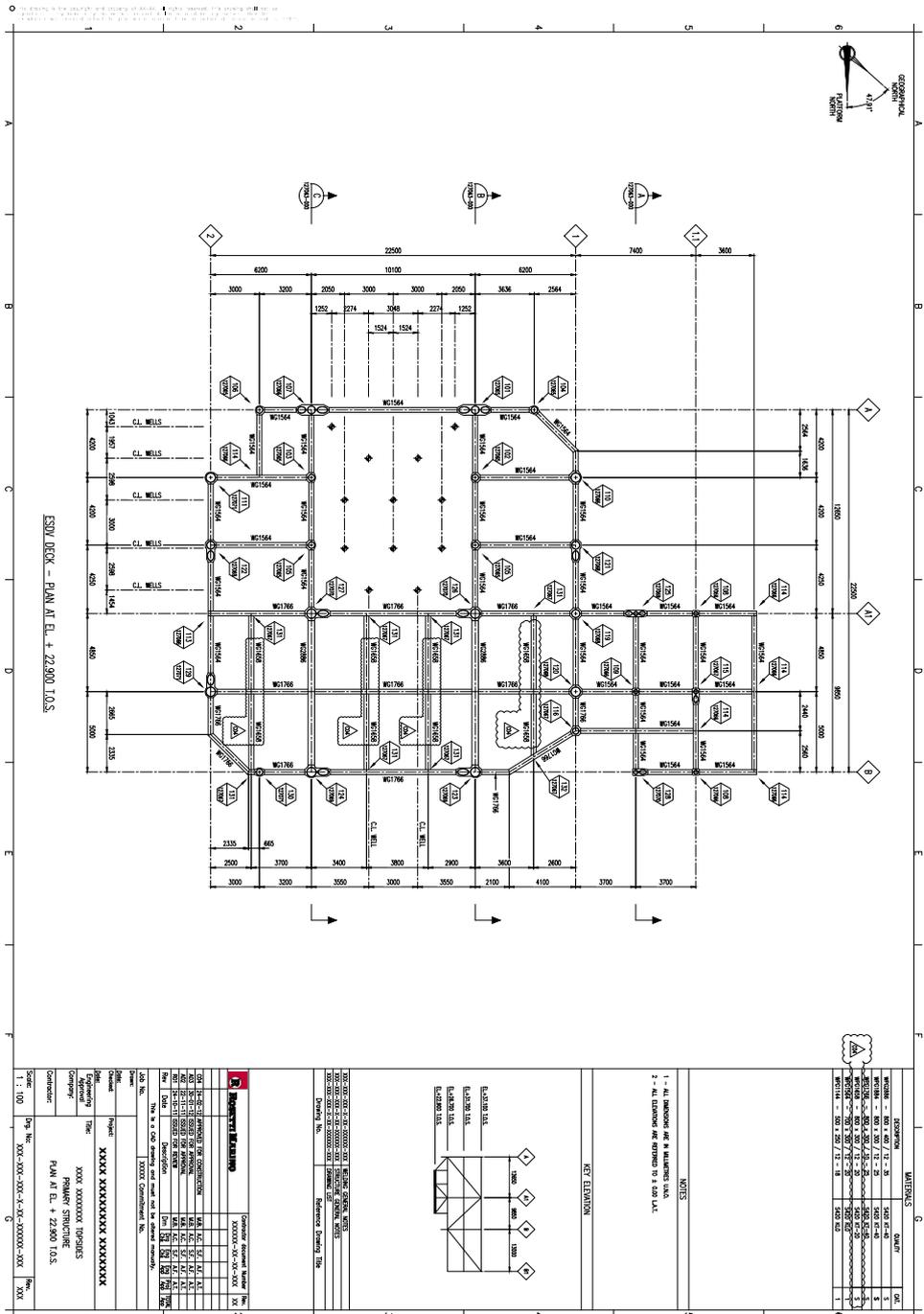


Figura D.1: ESDV level deck - Plan view - Primary structure

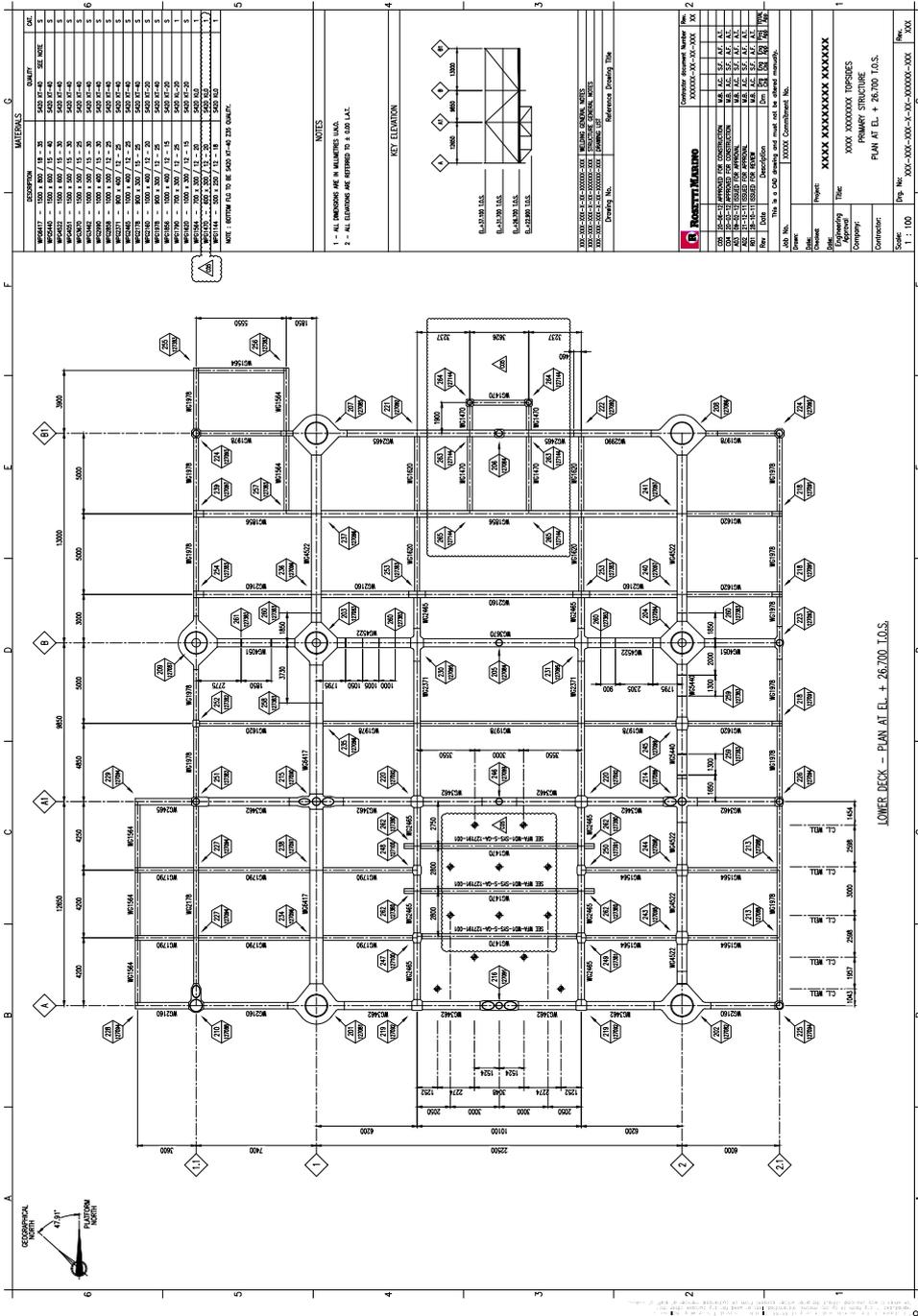
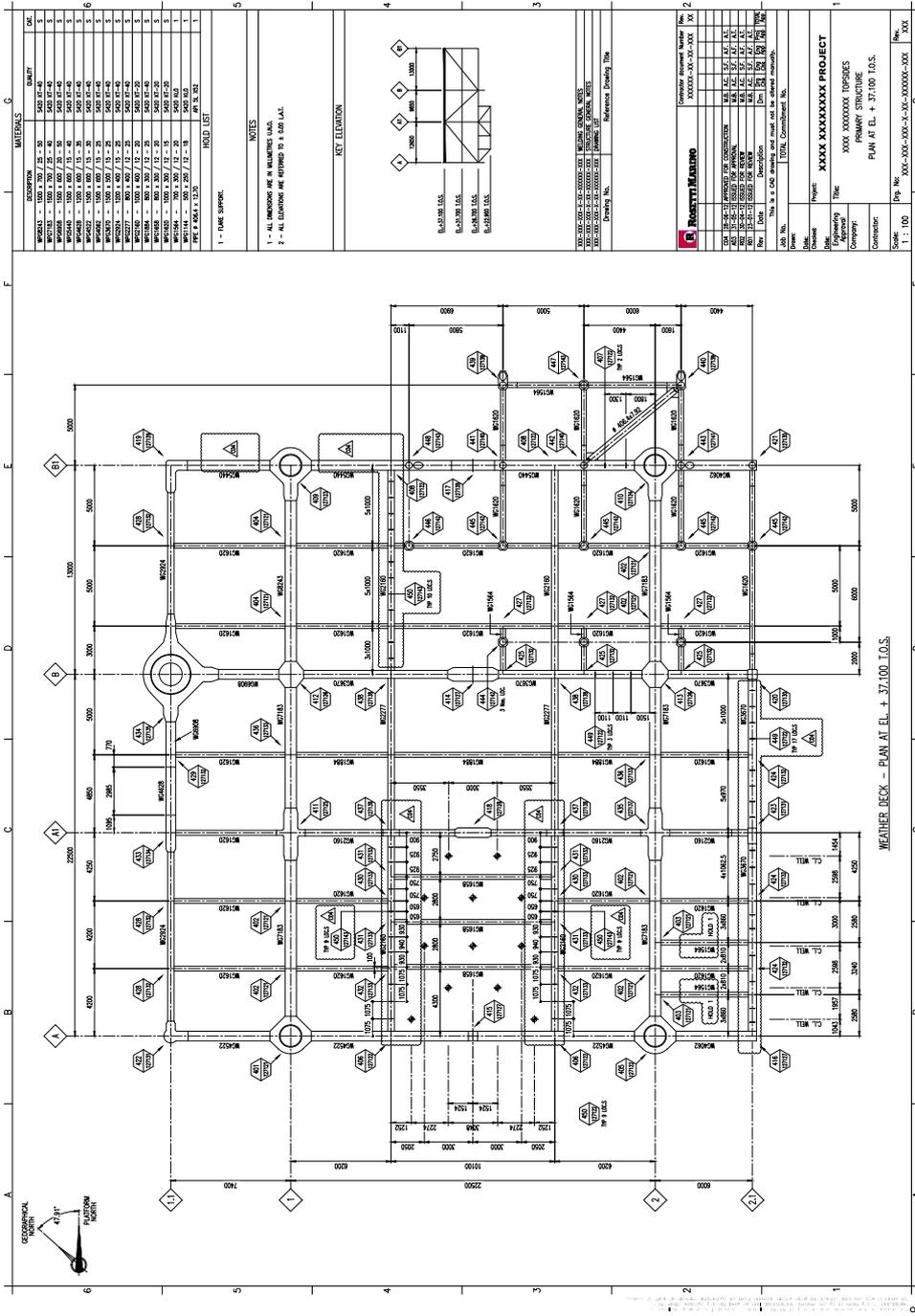


Figure D.2: Lower level deck - Plan view - Primary structure



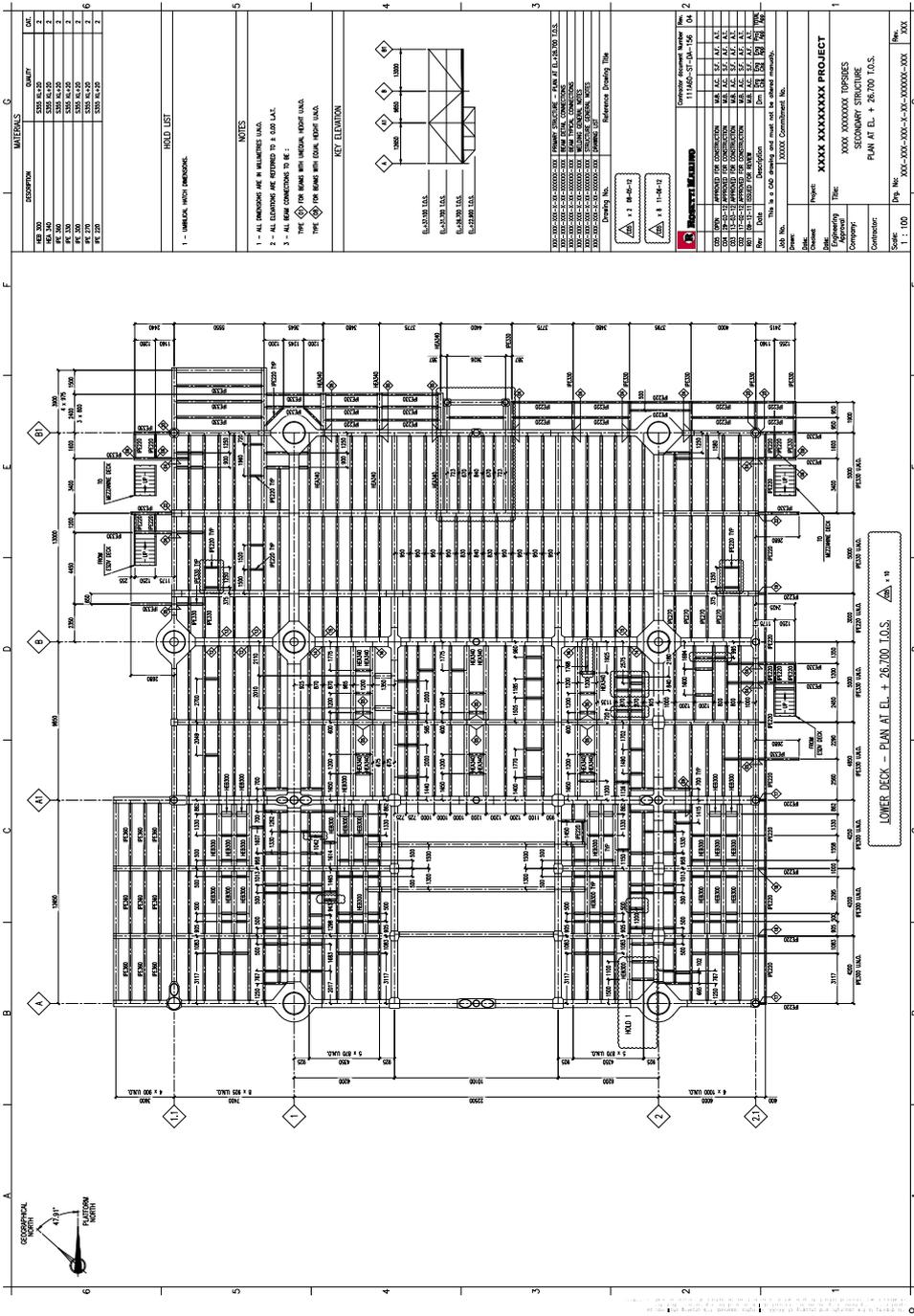


Figure D.6: Lower level deck - Plan view - Secondary structure

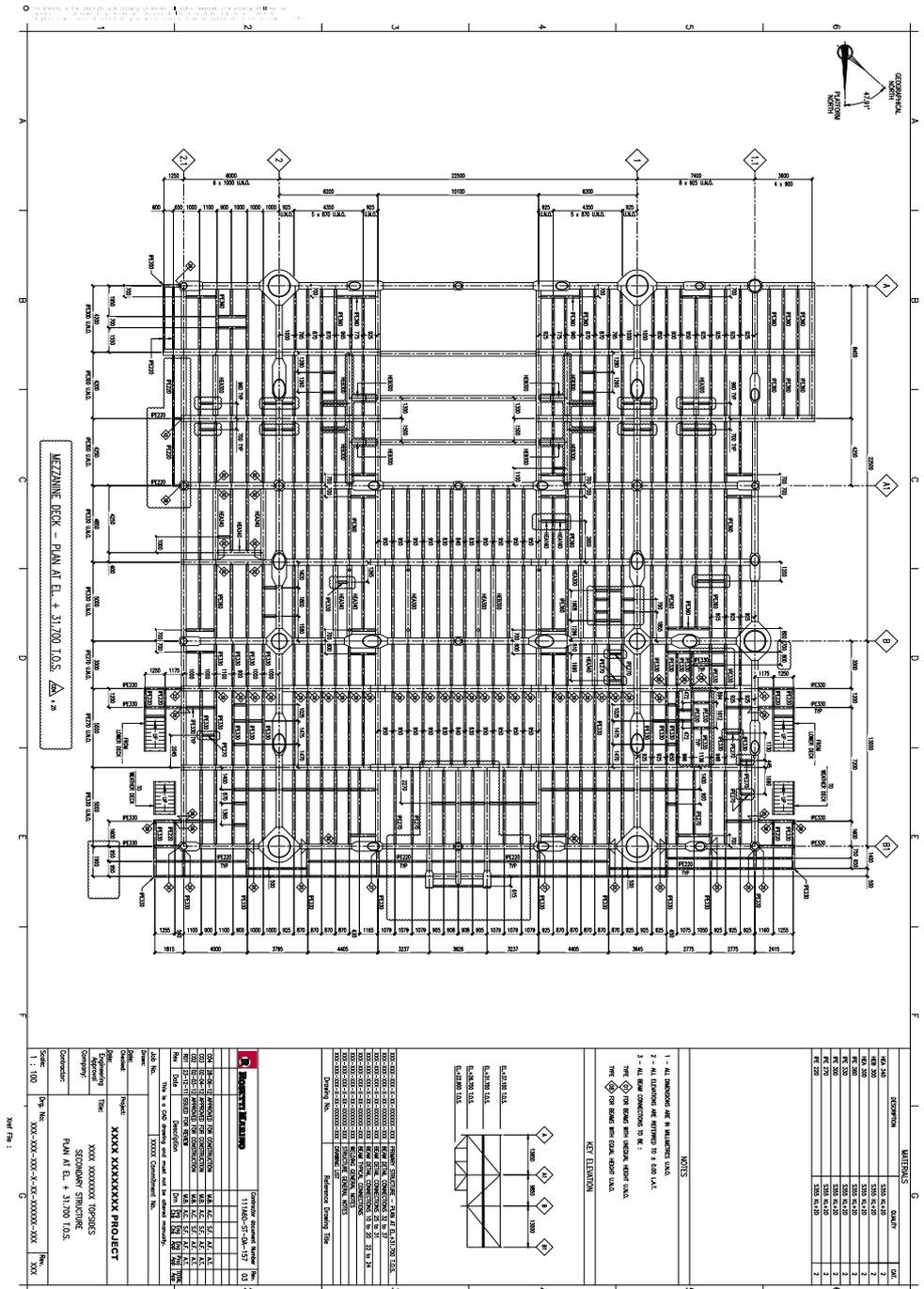


Figura D.7: Mezzanine level deck - Plan view - Secondary structure

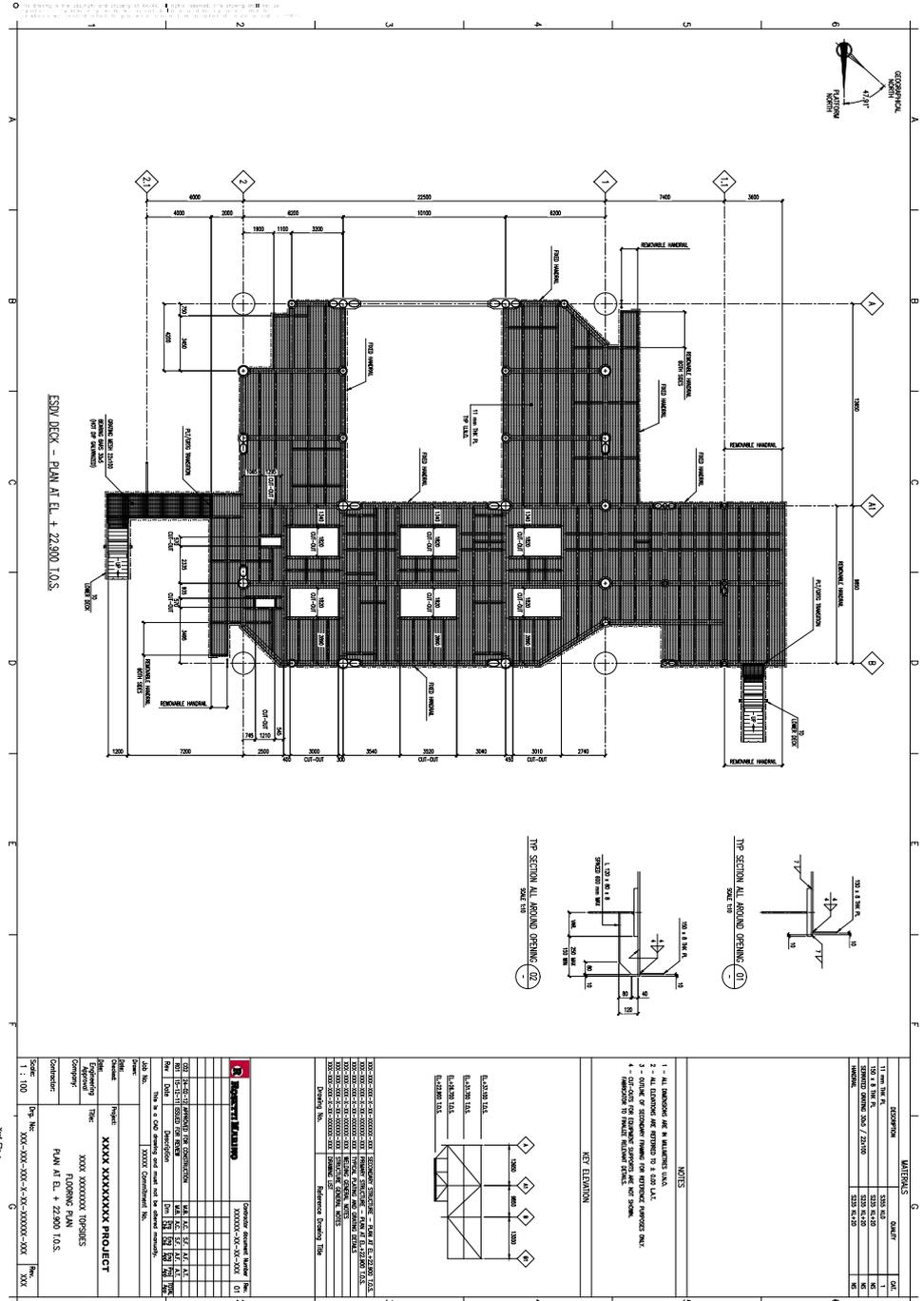


Figura D.9: ESDV level deck - Plan view - Flooring

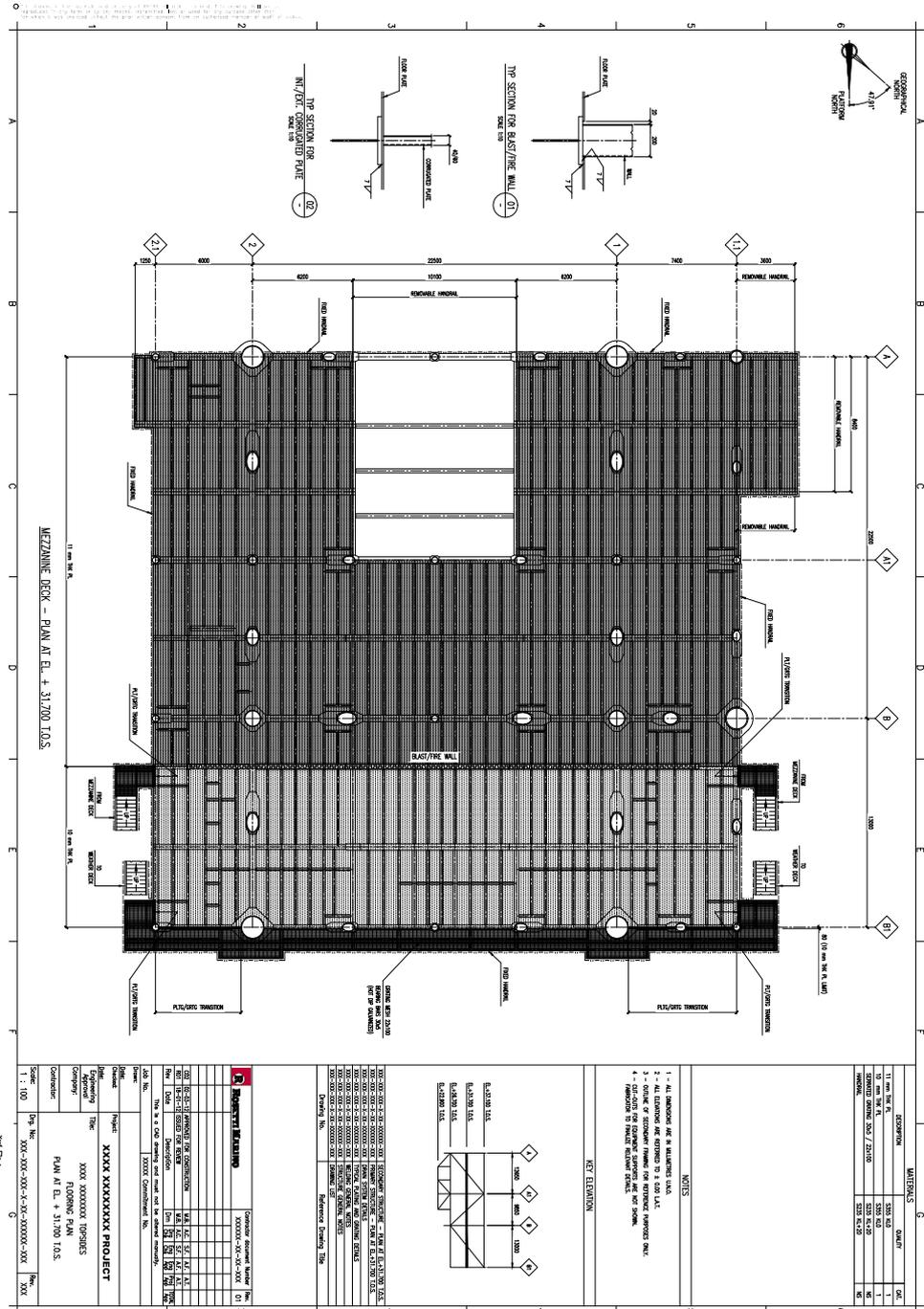


Figura D.11: Mezzanine level deck - Plan view - Flooring

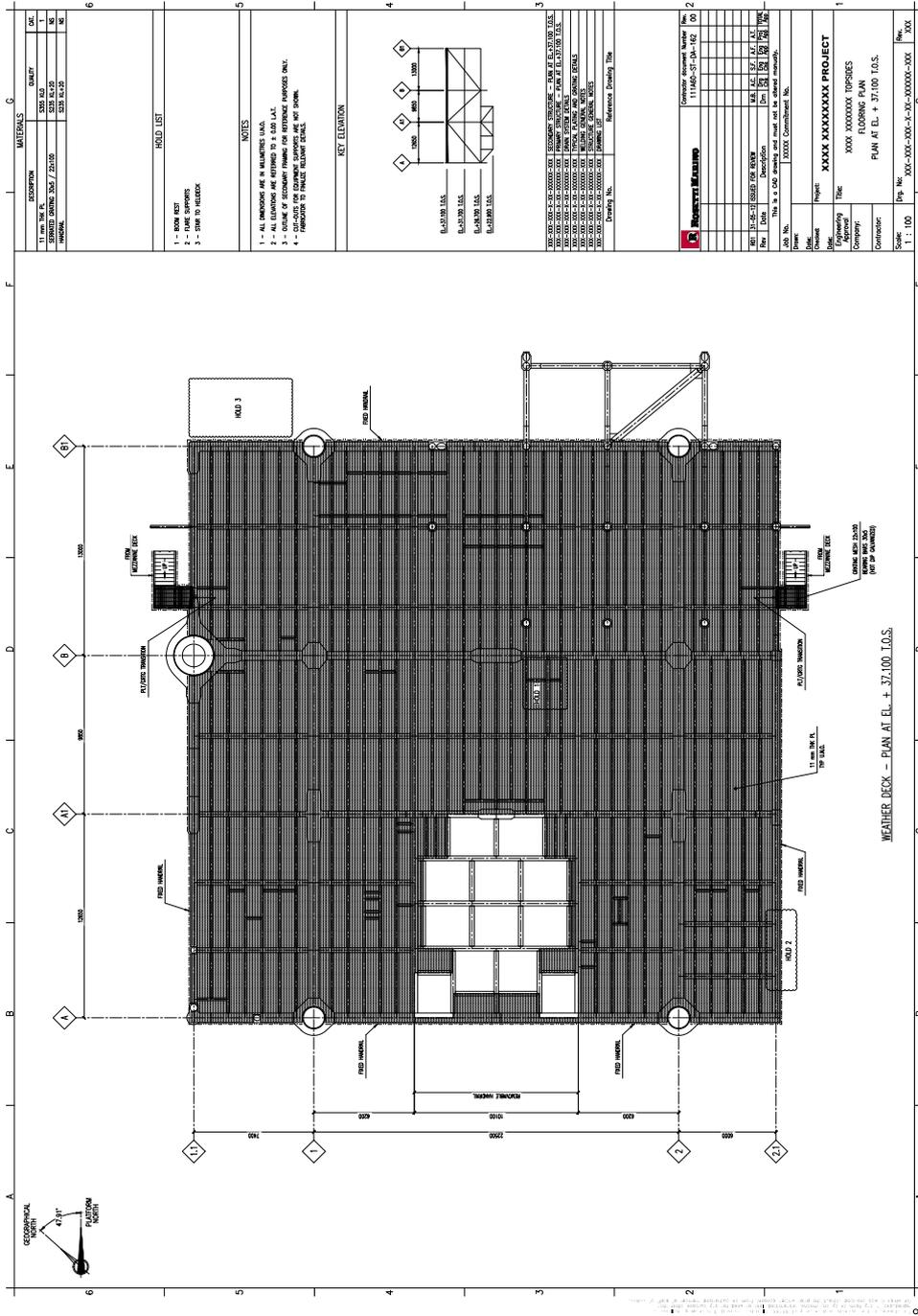
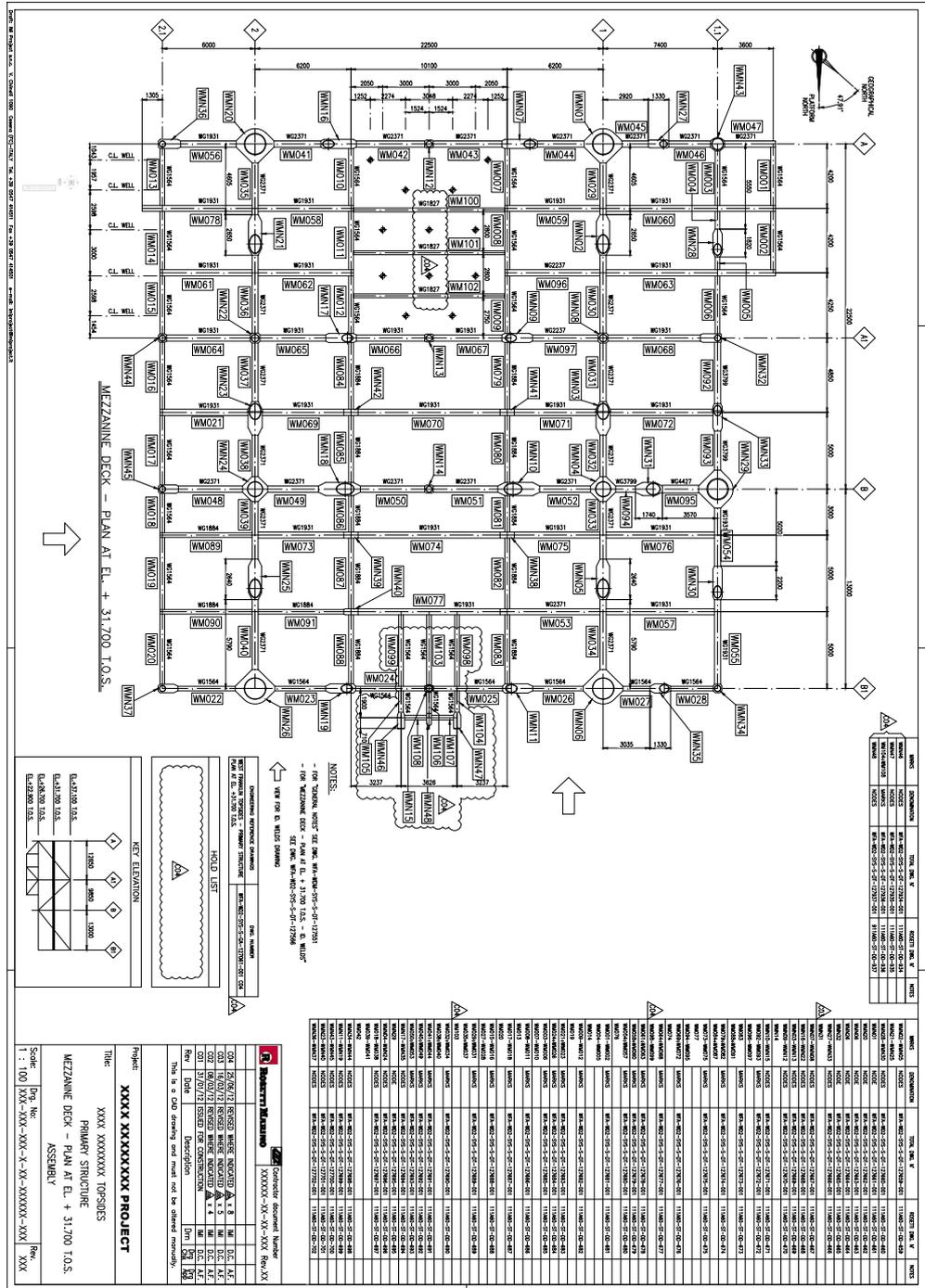


Figure D.12: Weather level deck - Plan view - Flooring

APPENDICE E

Shop drawings

Figura E.3: Mezzanine level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure



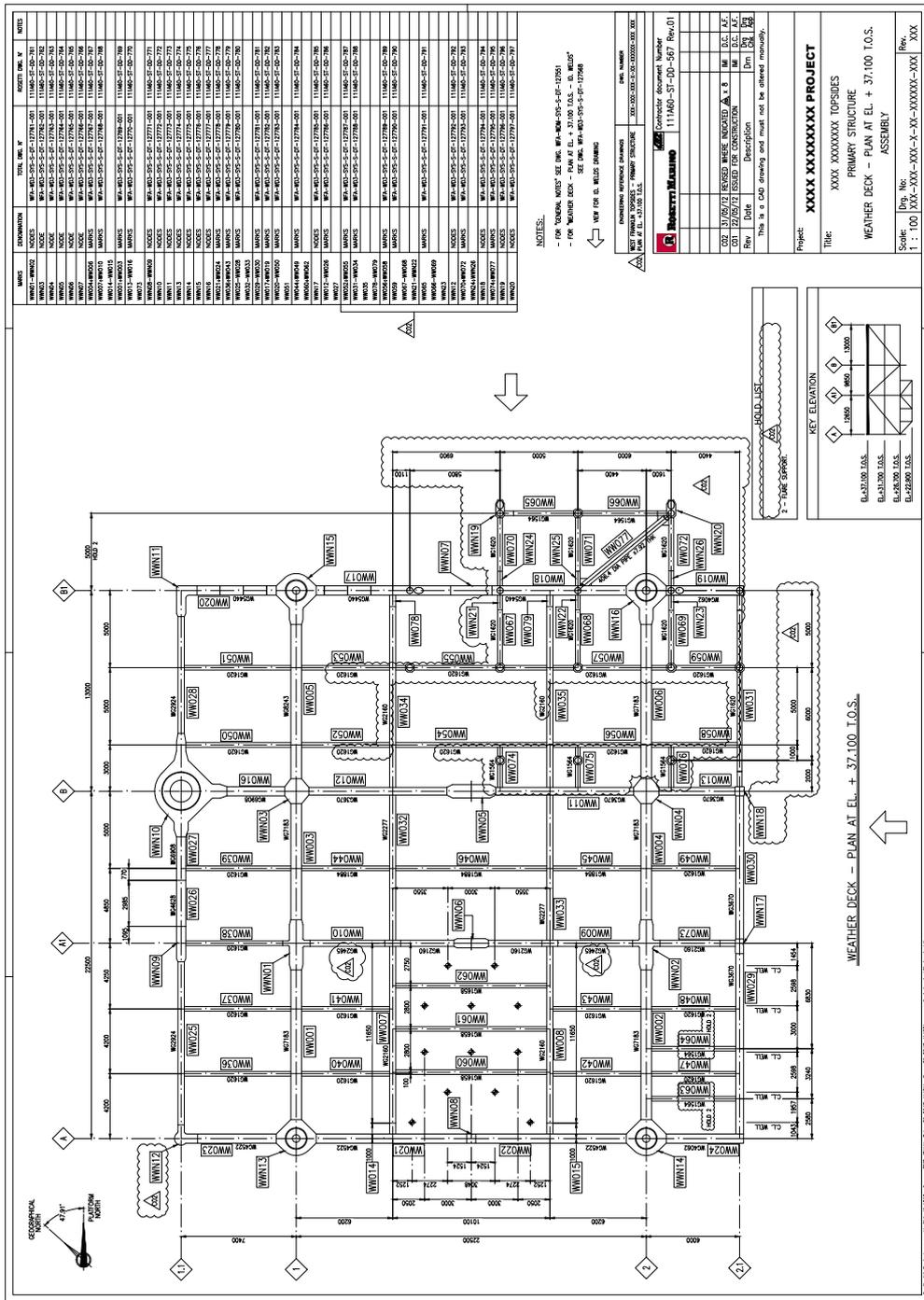


Figure E.4: Weather level deck - Shop drawing - Plan view - Primary structure

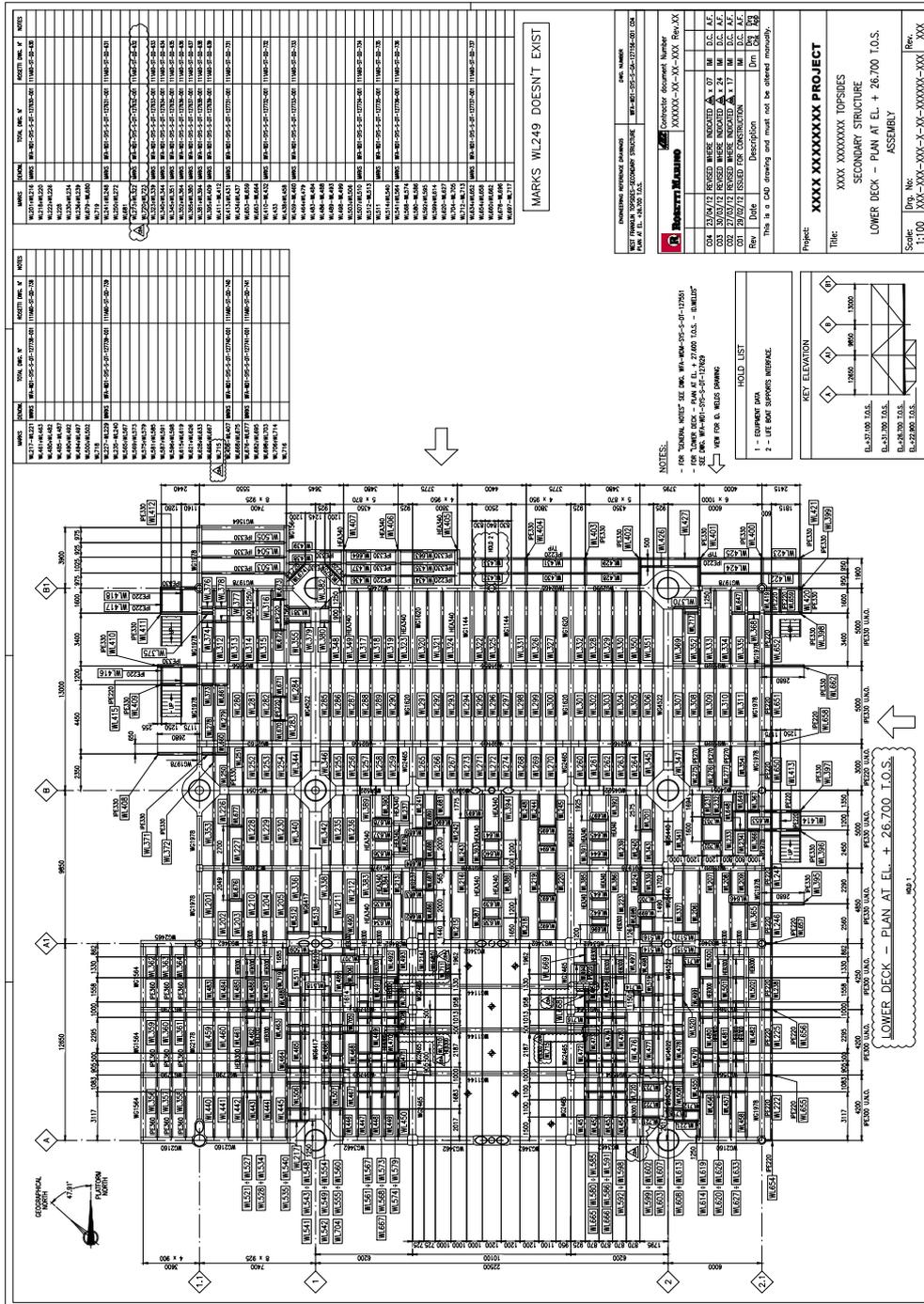


Figure E.6: Lower level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure

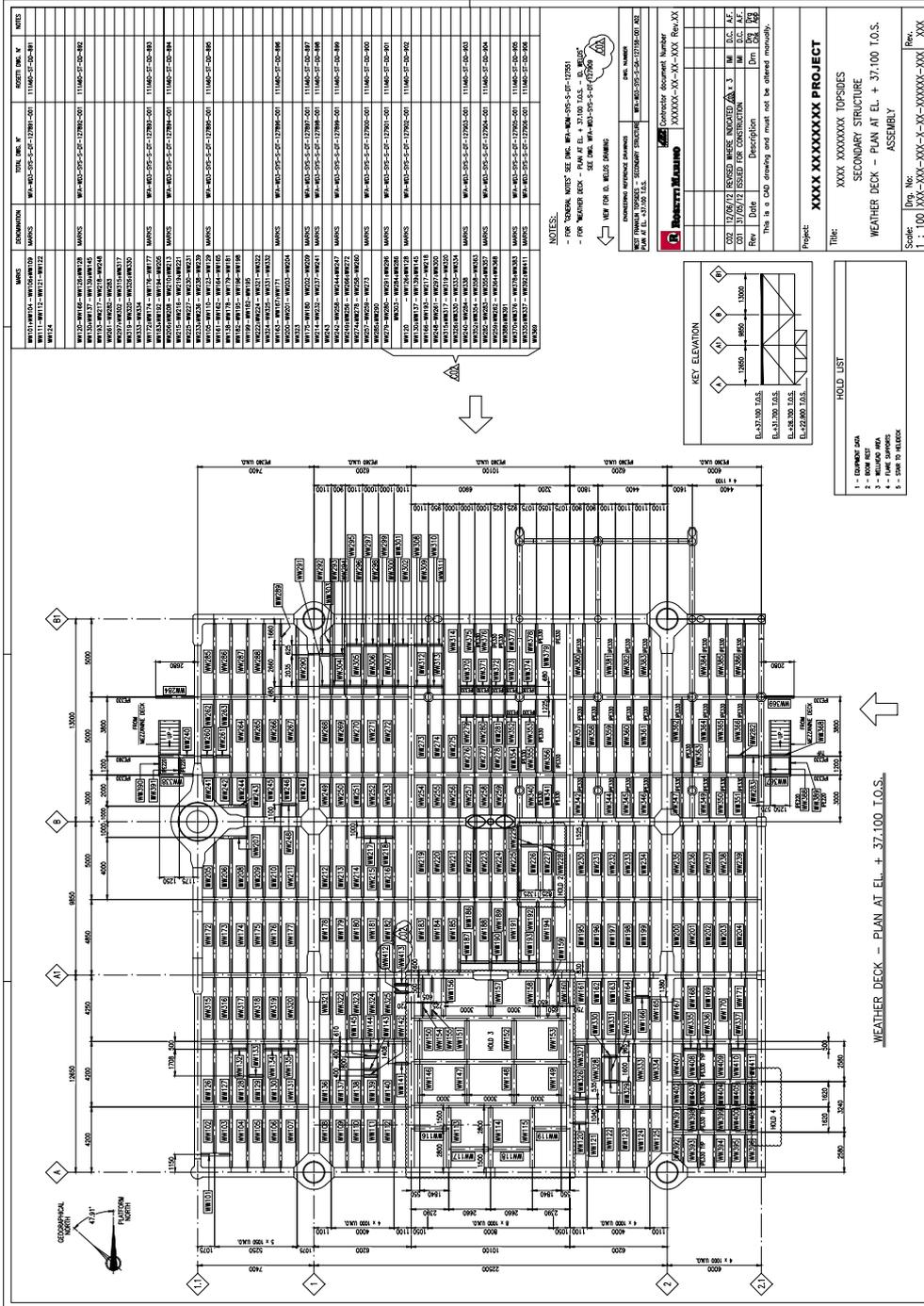


Figure E.8: Weather level deck - Shop drawing - Plan view - Secondary structure

APPENDICE F

Totem

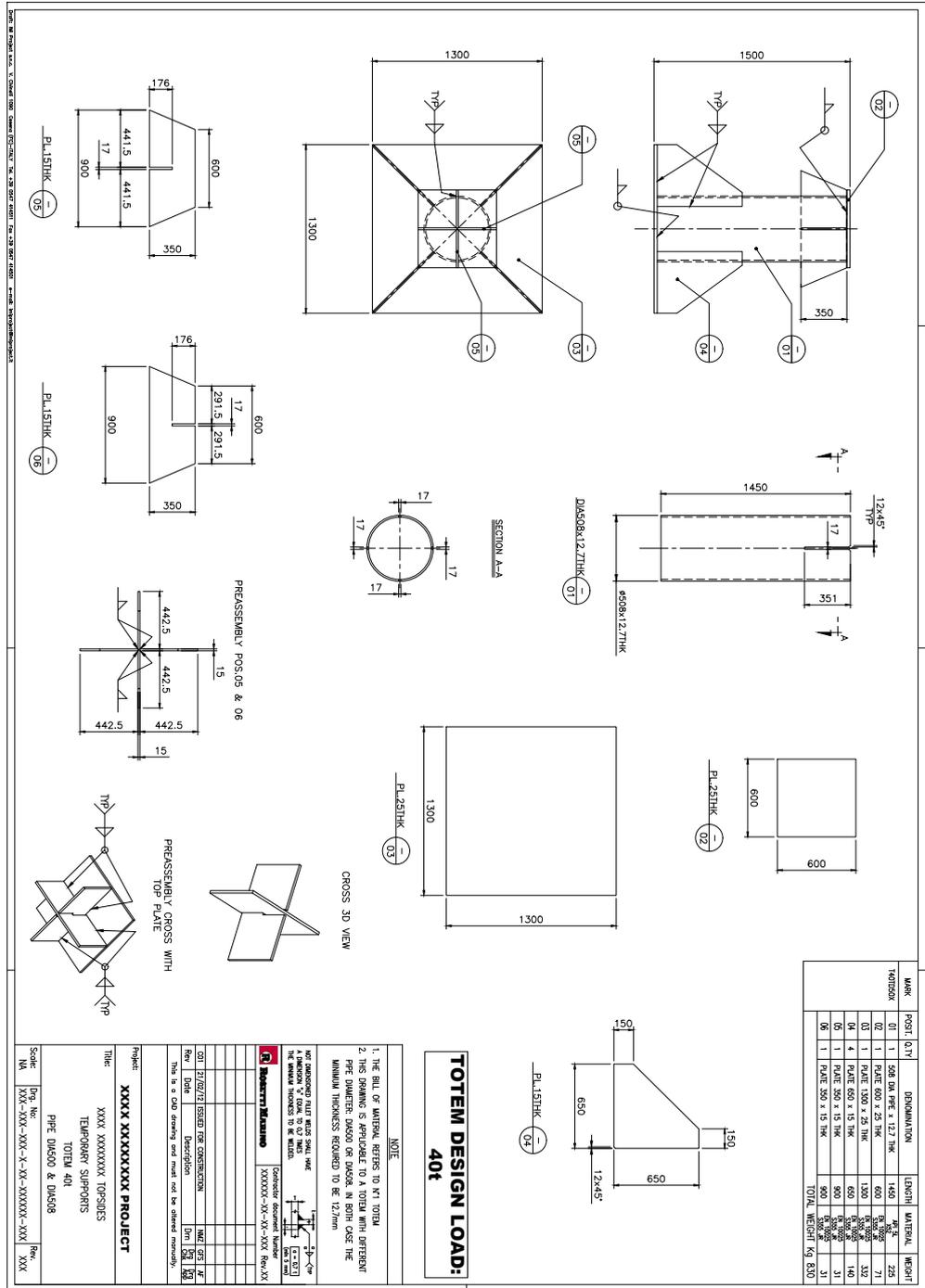


Figura F.1: Totem

APPENDICE G

Center of gravity section 1

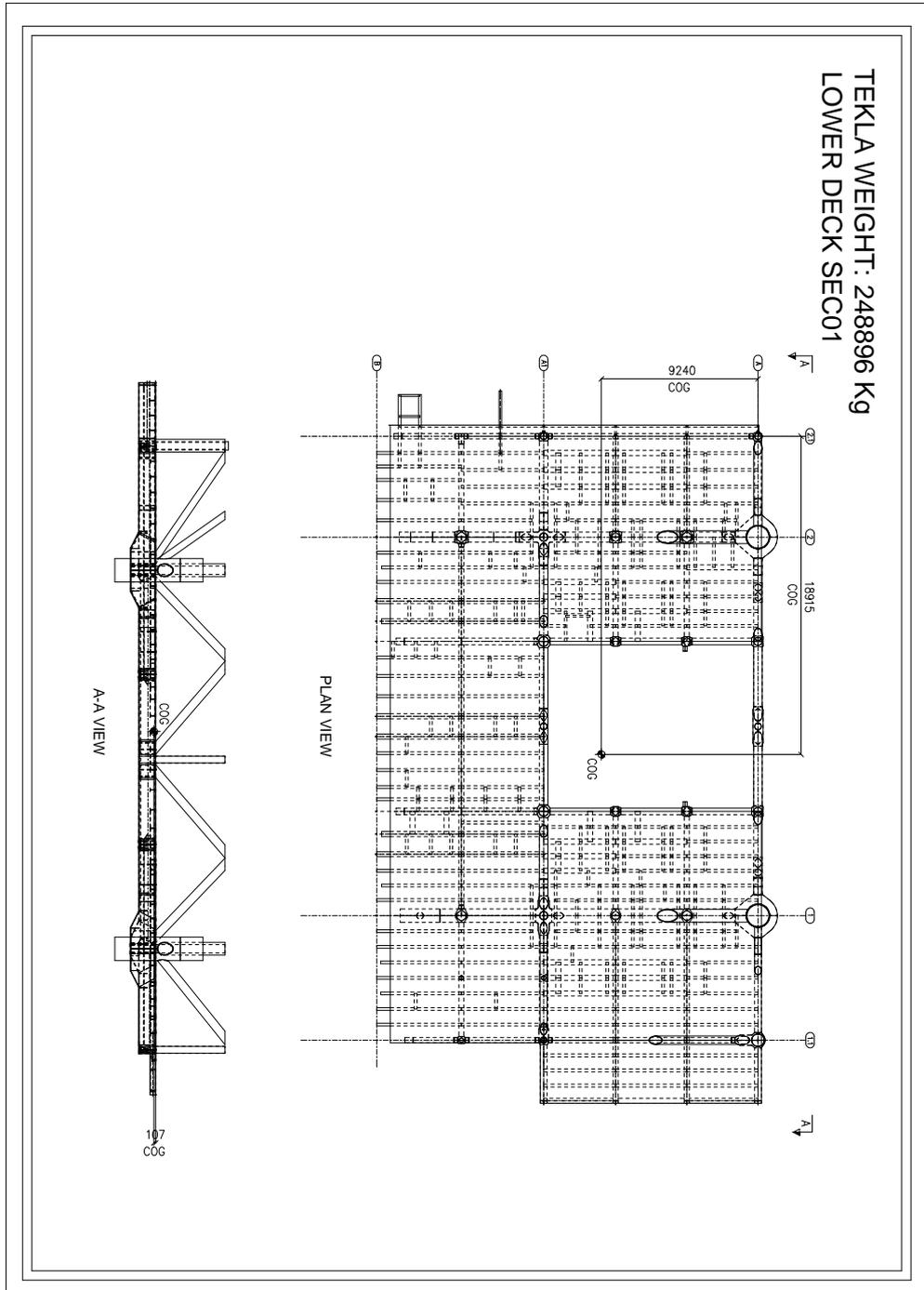


Figura G.1: Lower level deck section 1 - Center of gravity

APPENDICE H

Movement section 1

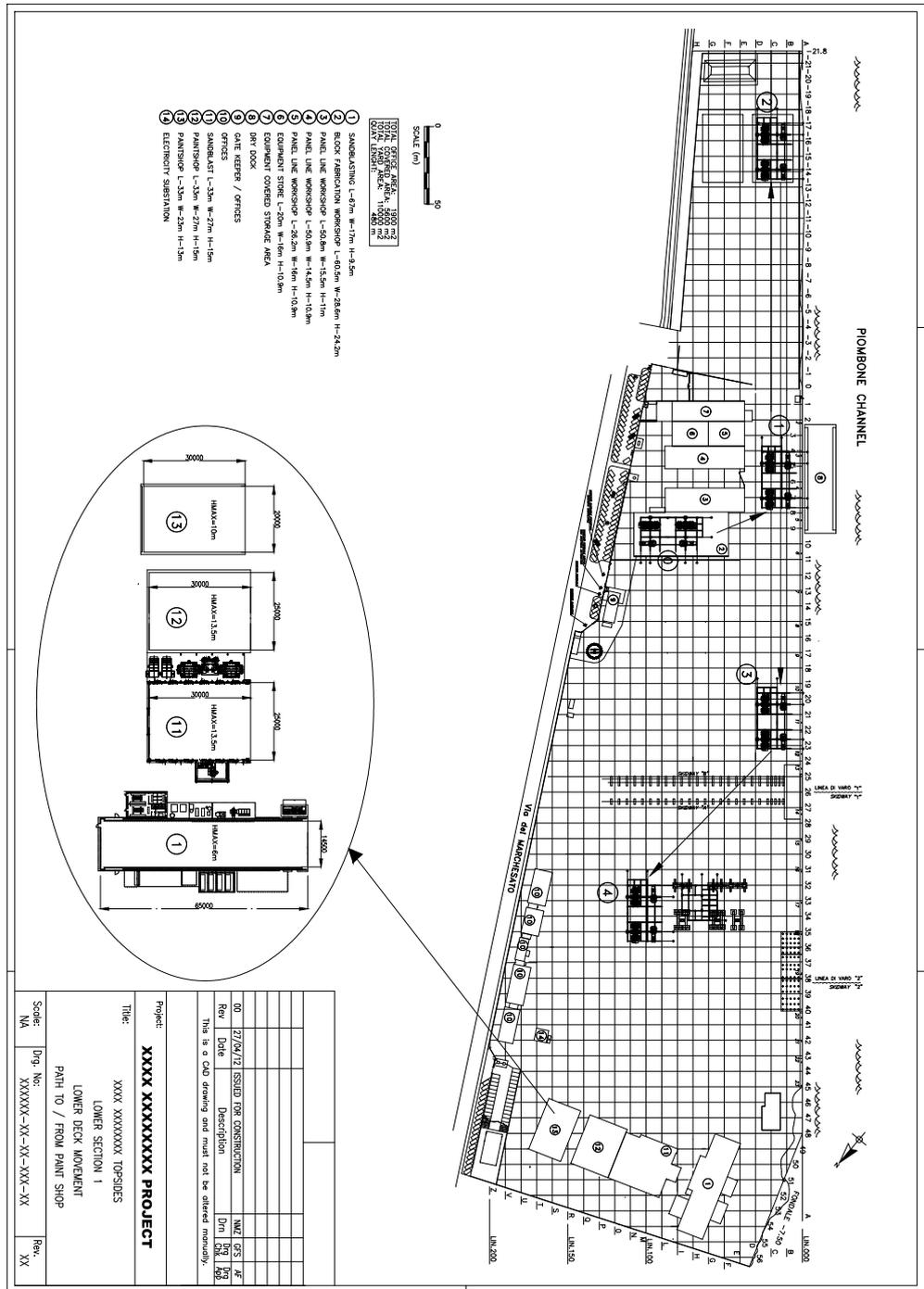


Figura H.1: Lower level deck section 1 - Yard movement

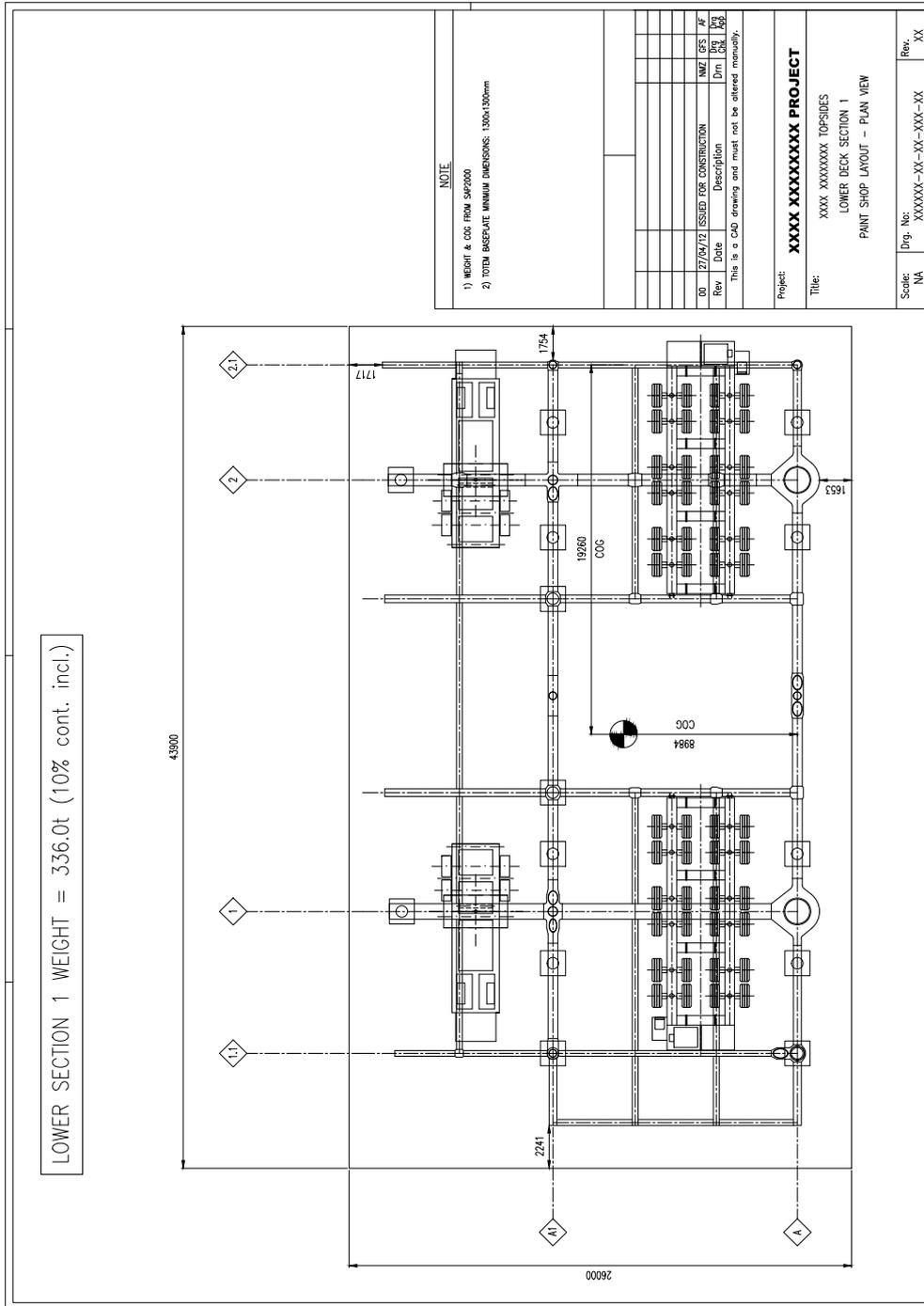


Figura H.2: Lower level deck section 1 - Paint shop layout - plan view

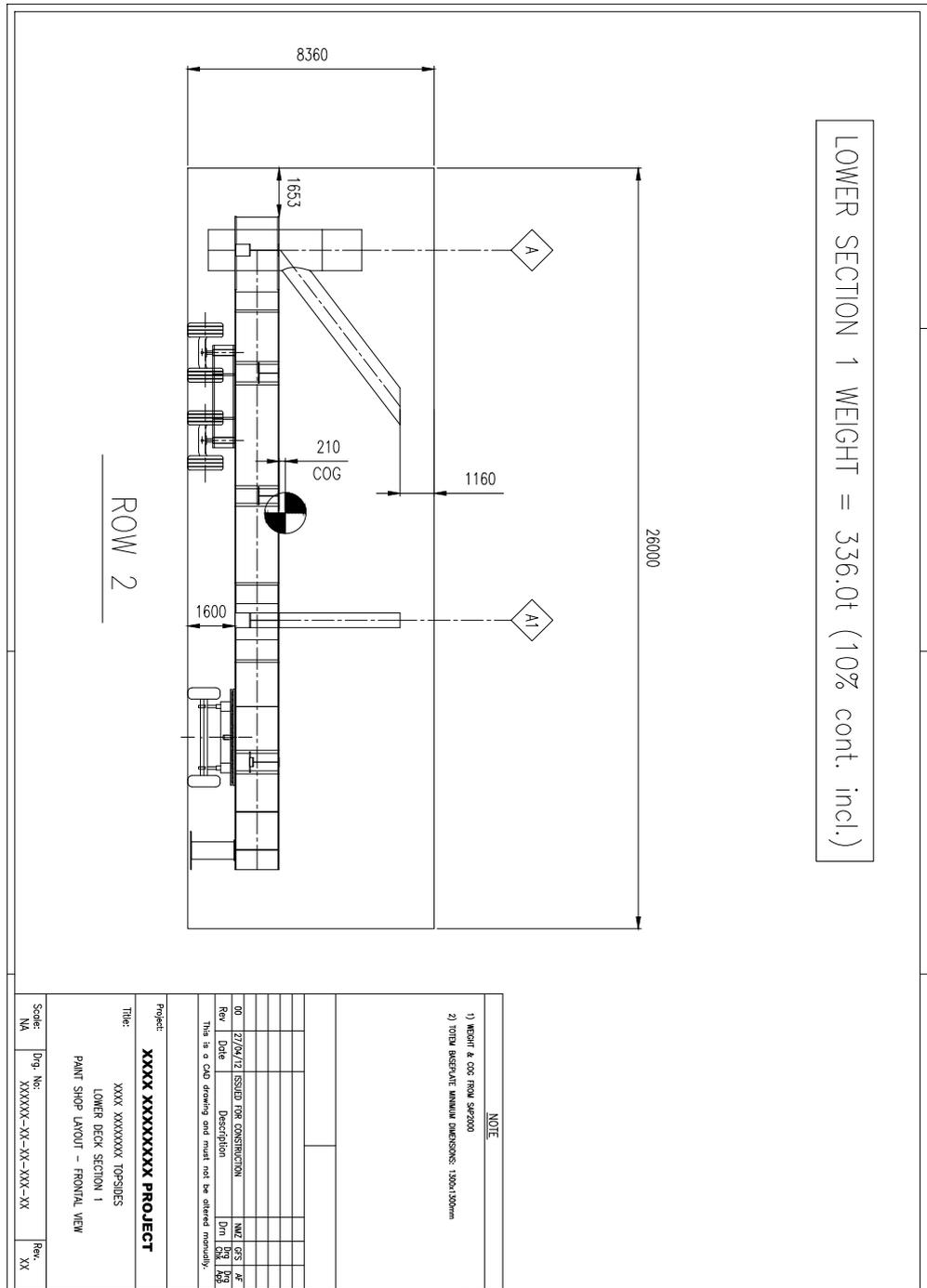


Figura H.3: Lower level deck section 1 - Paint shop layout - frontal view

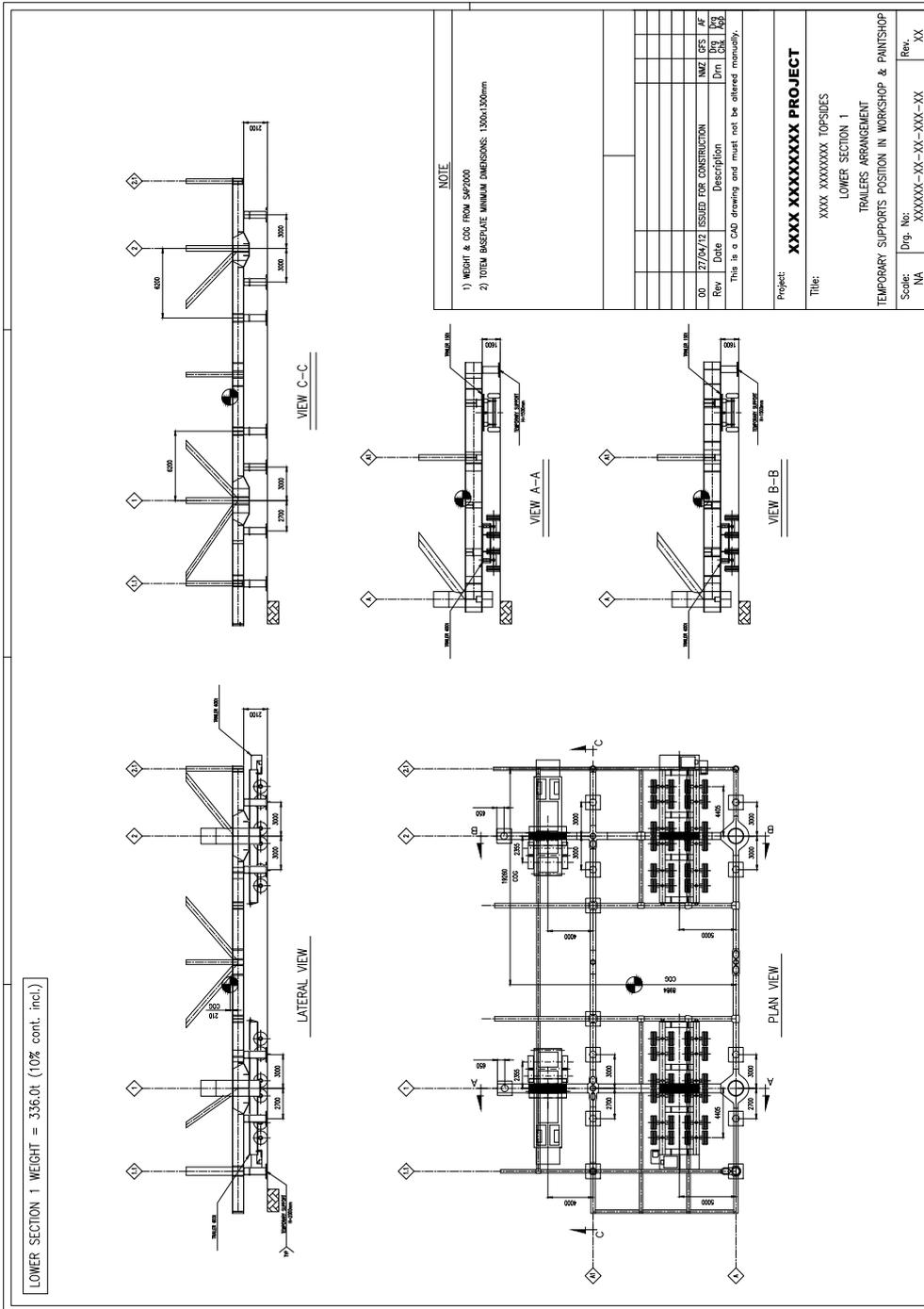


Figura H.4: Lower level deck section 1 - General arrangement

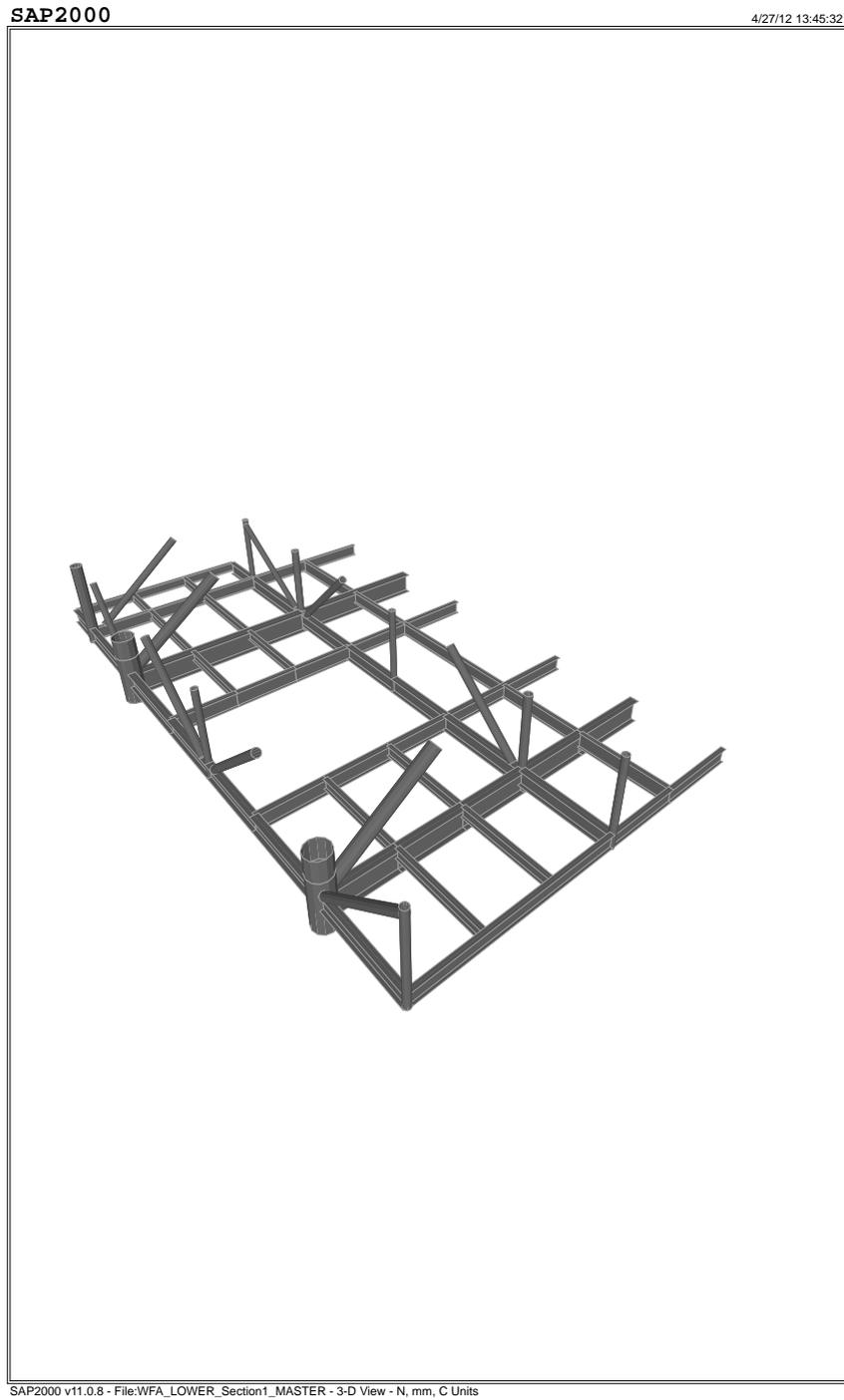


Figura H.5: 3D view section 1

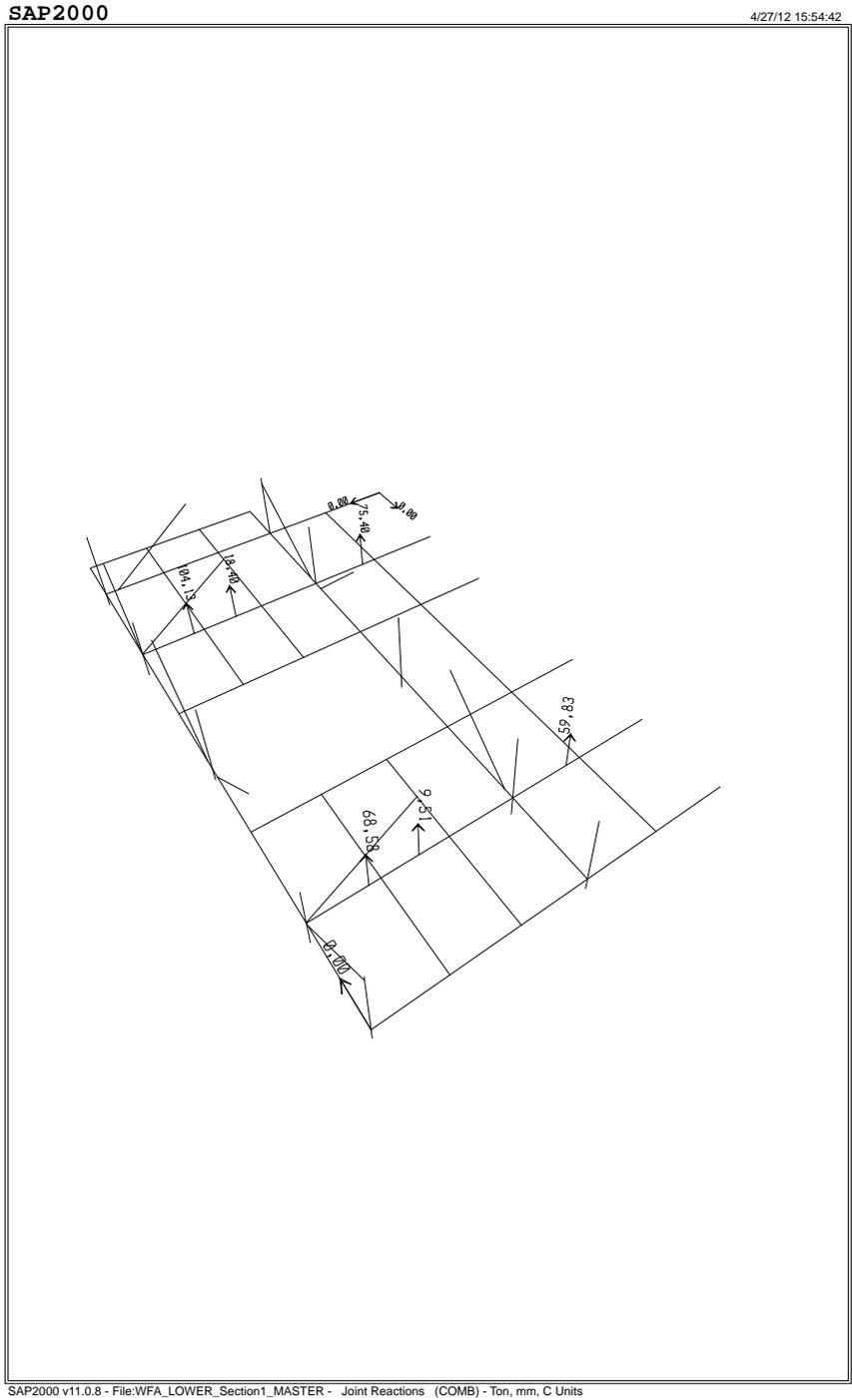


Figura H.6: Reactions section 1

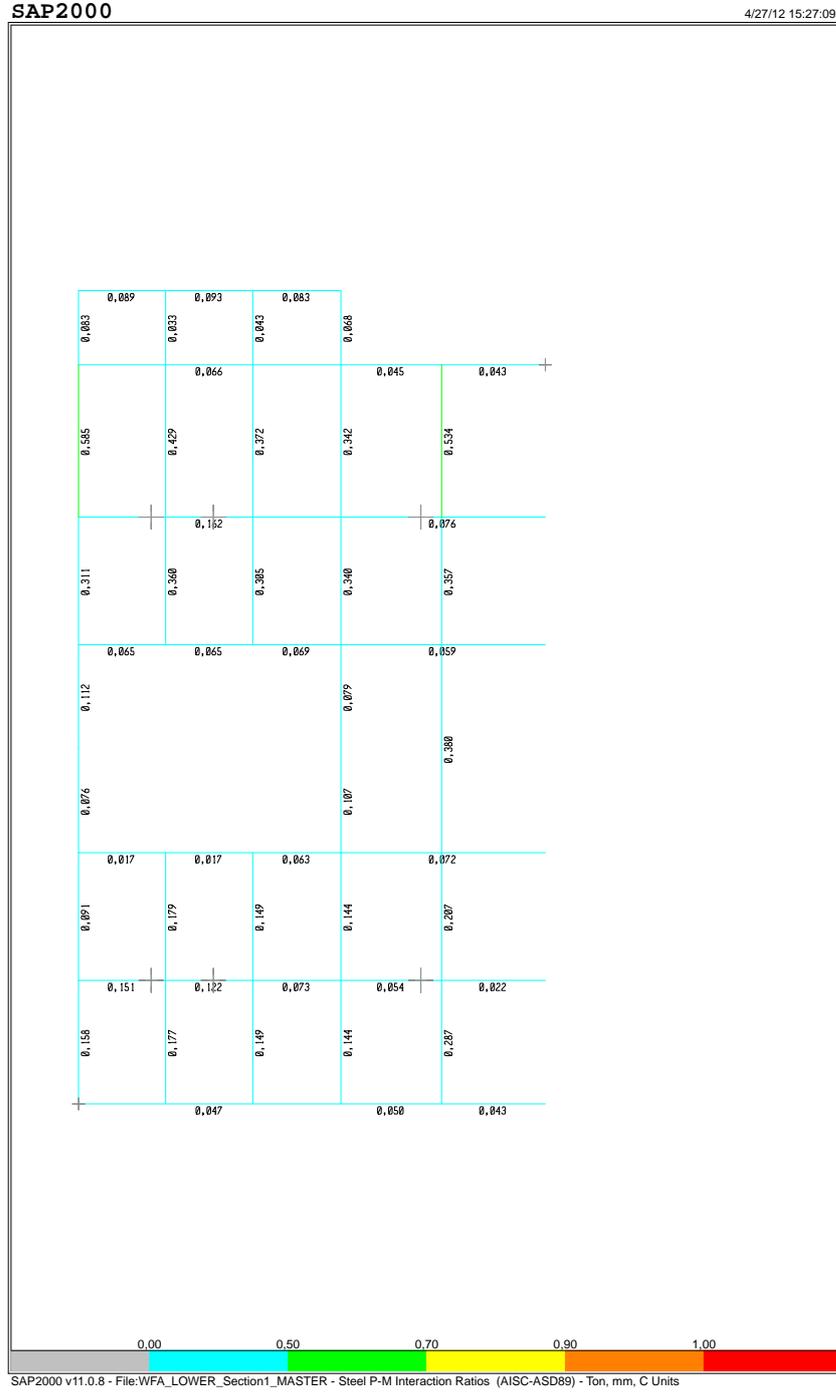


Figura H.7: Analysis plan view section 1

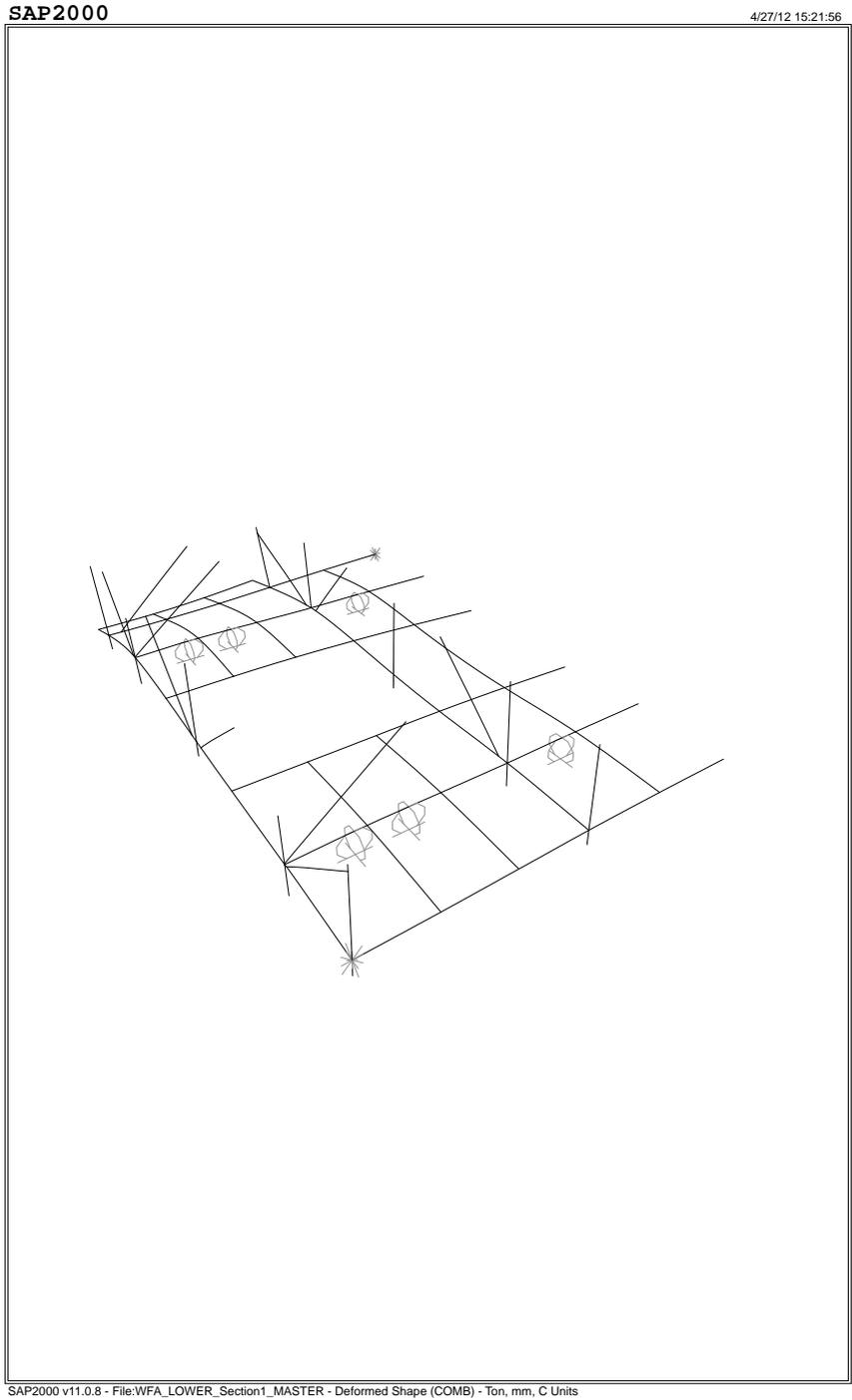


Figura H.8: Deformation section 1

APPENDICE I

Lifting section 1

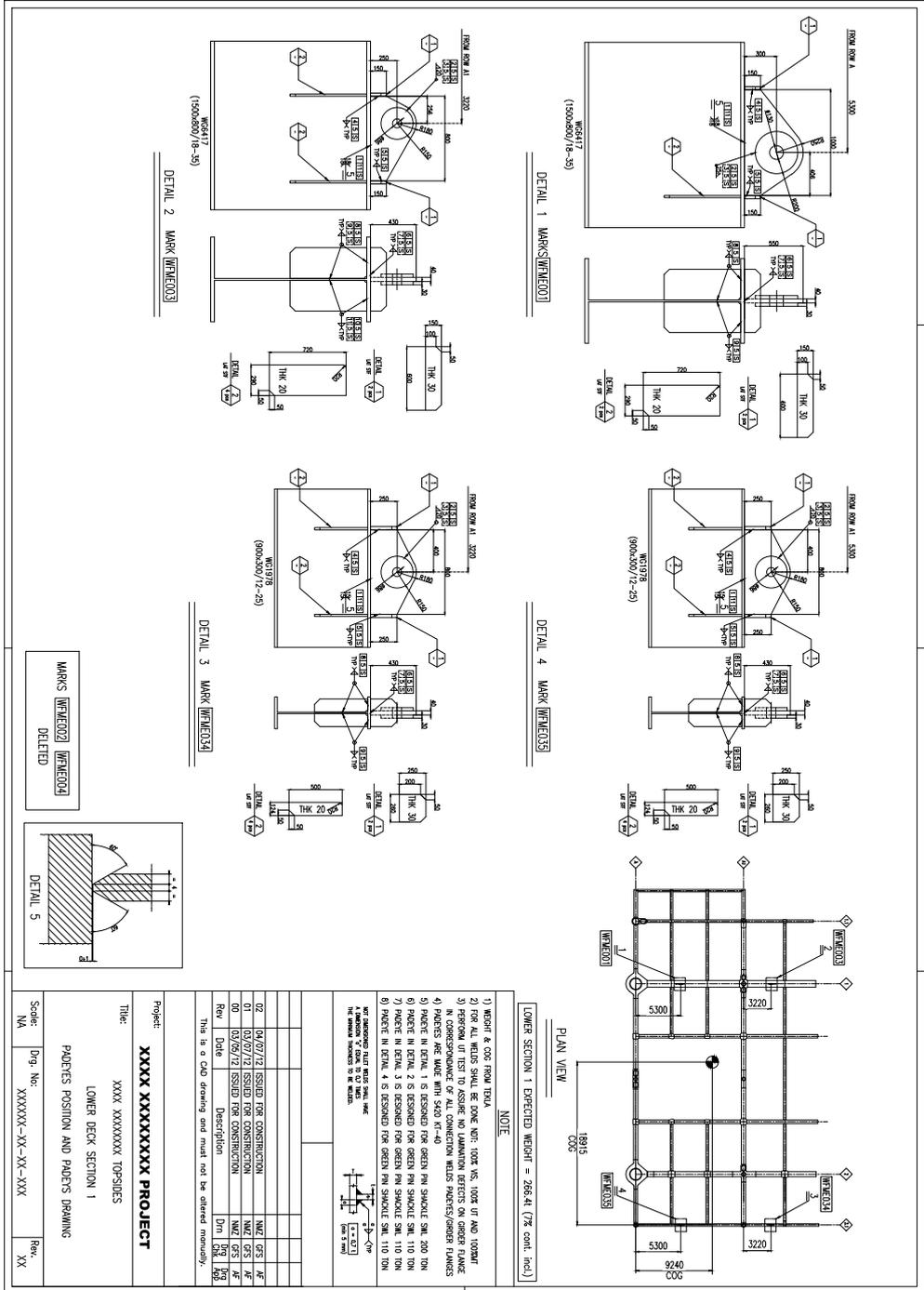


Figure I.1: Lower level deck section 1 - Padeyes

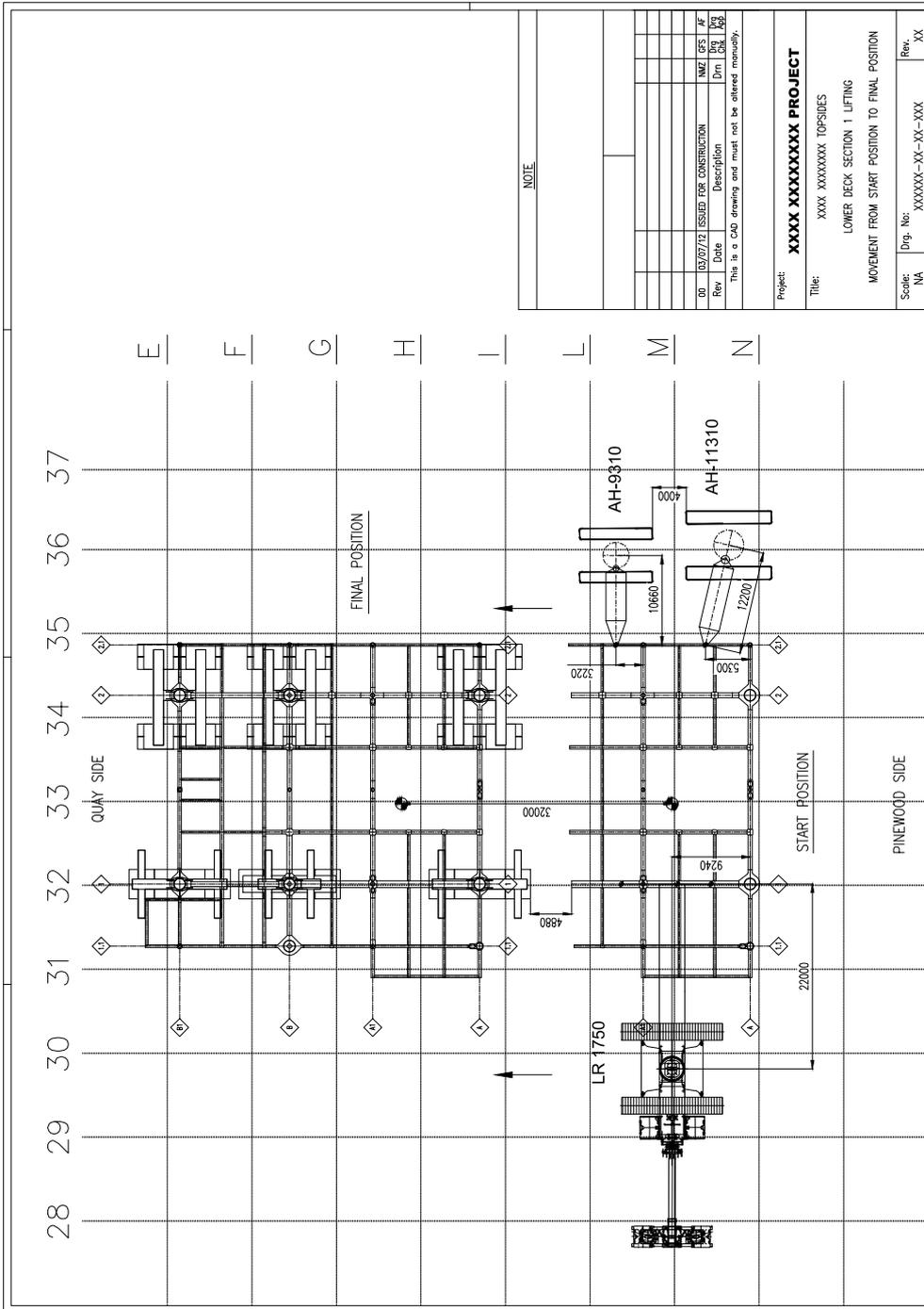


Figura I.2: Lower level deck section 1 - Lifting movement

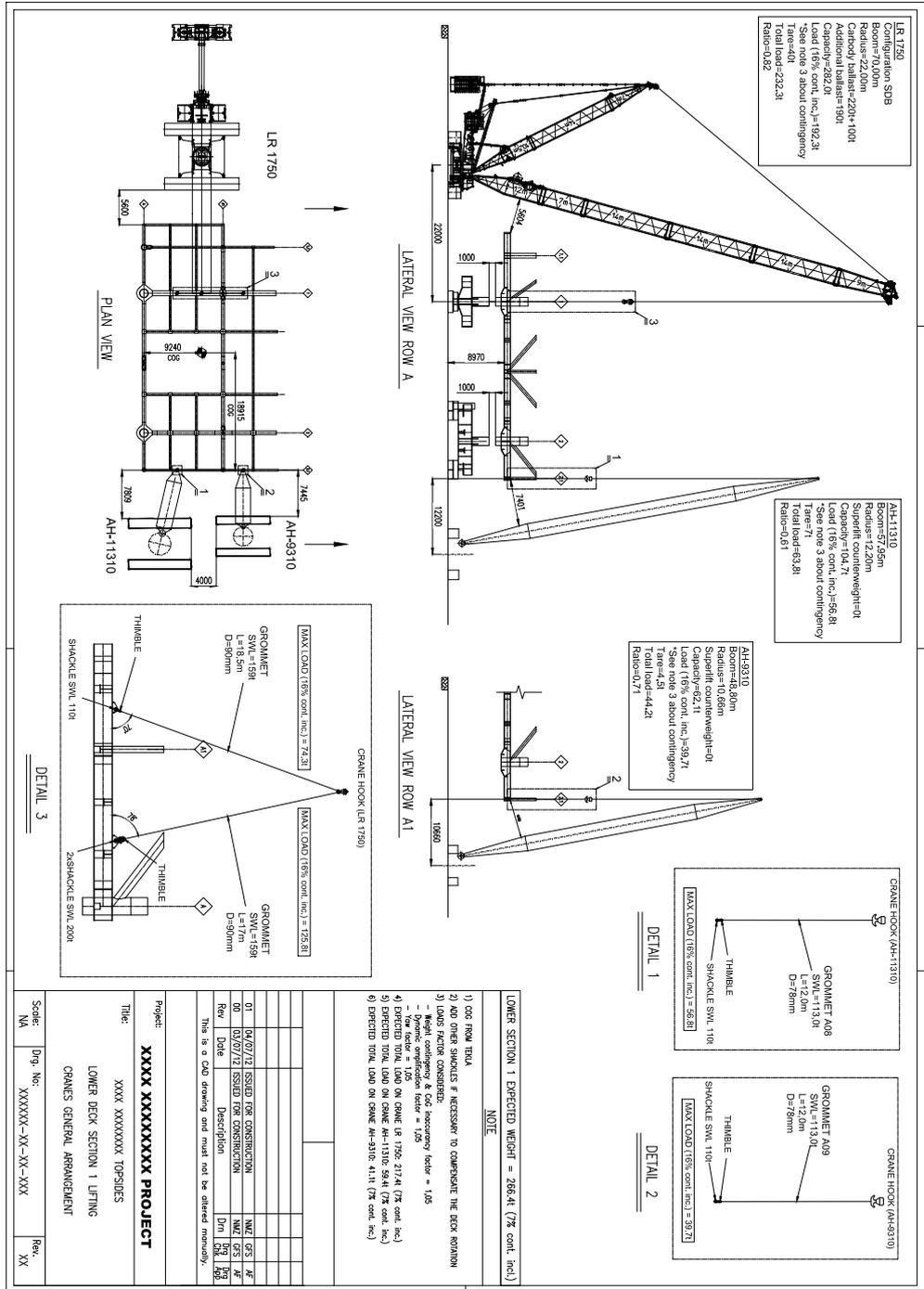


Figura I.3: Lower level deck section 1 - Lifting arrangement

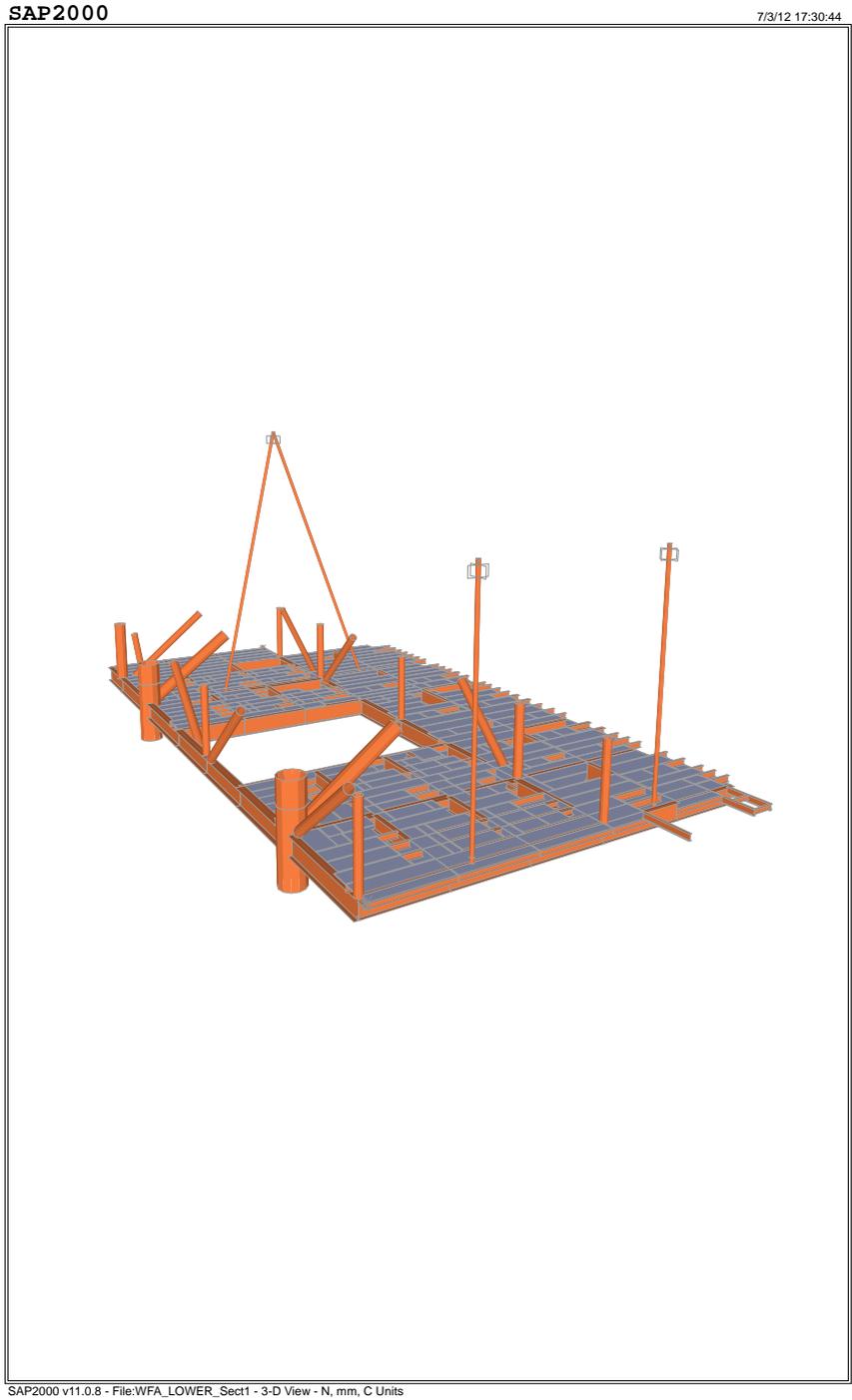


Figura I.4: 3D view lifting section 1

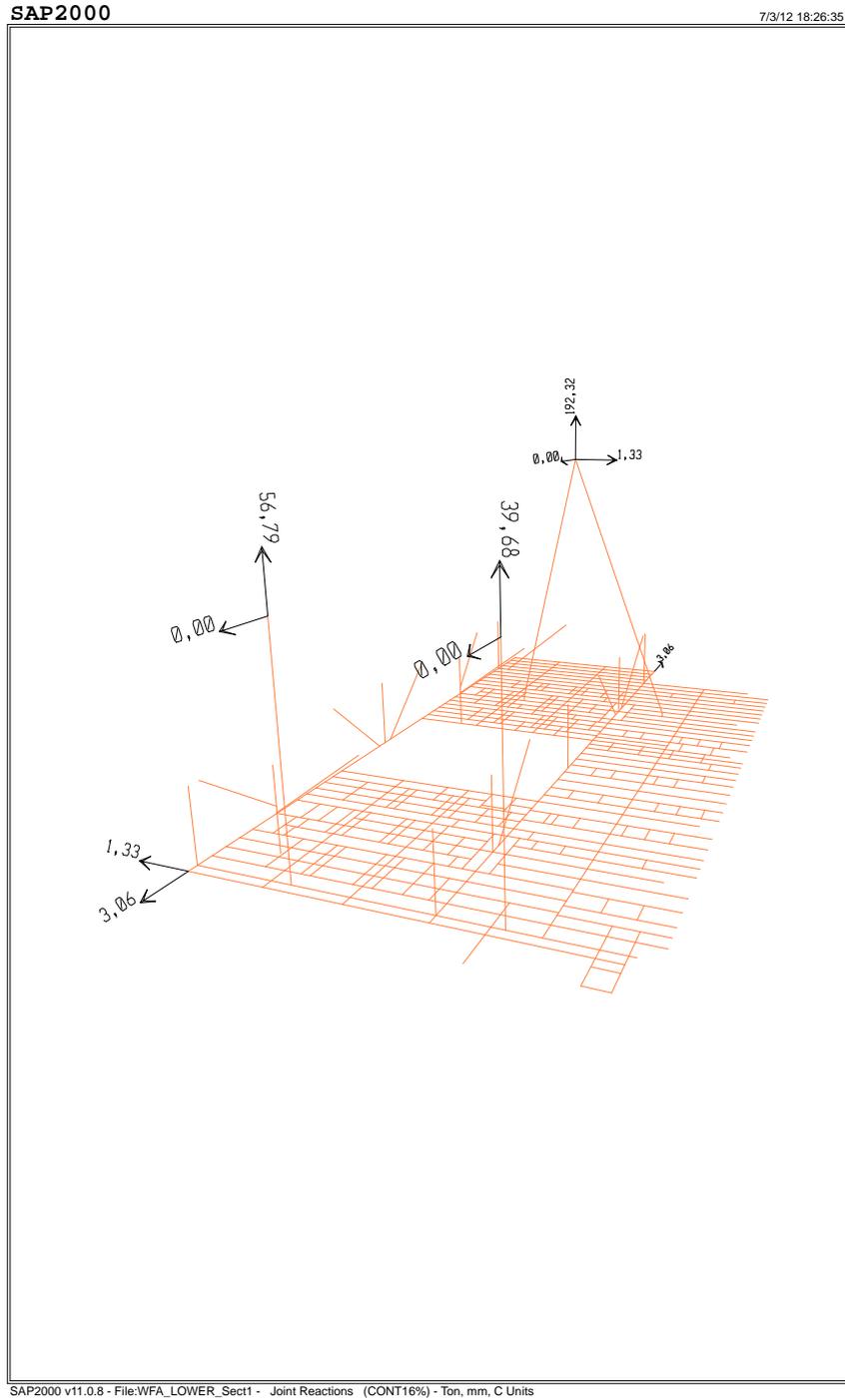
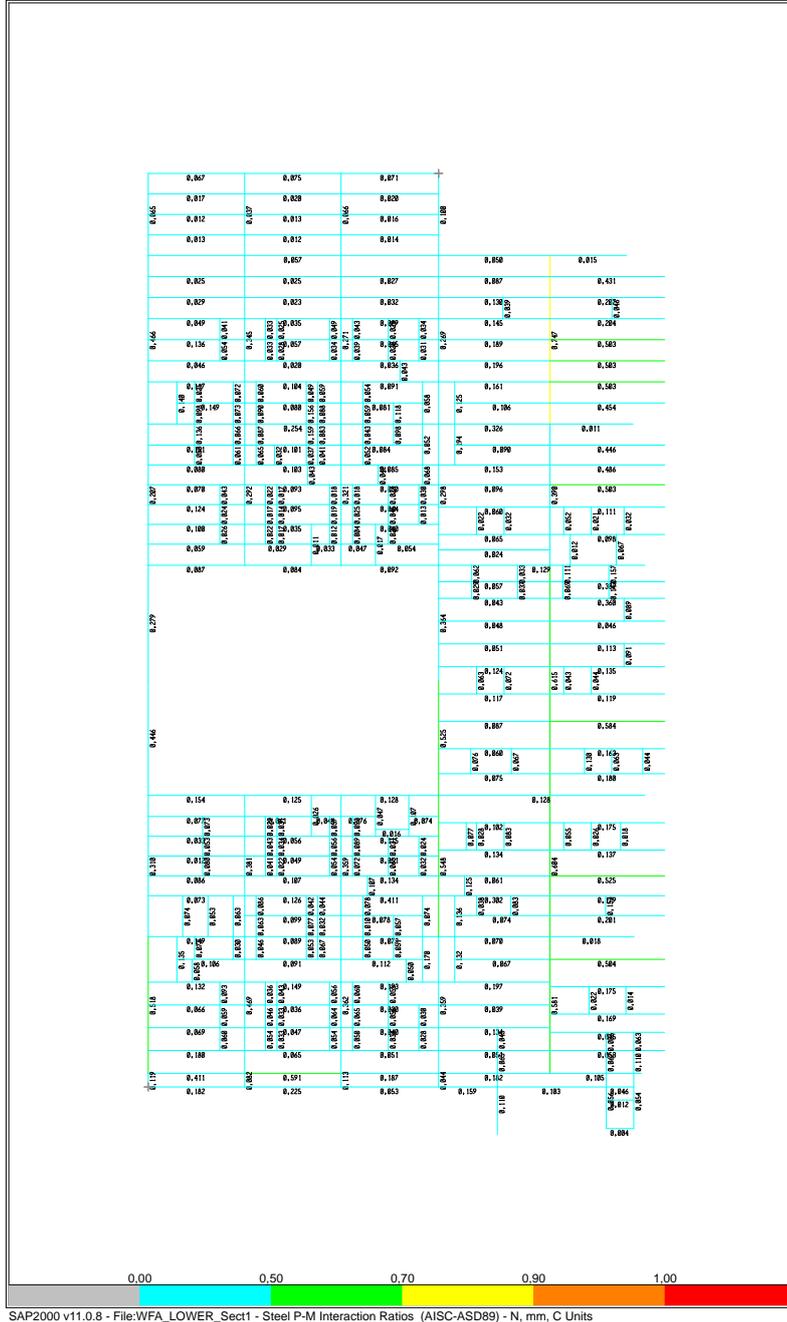


Figura I.5: Reactions lifting section 1



SAP2000 v11.0.8 - File:WFA_LOWER_Sect1 - Steel P-M Interaction Ratios (AISC-ASD89) - N, mm, C Units

Figure I.6: Analysis plan view lifting section 1

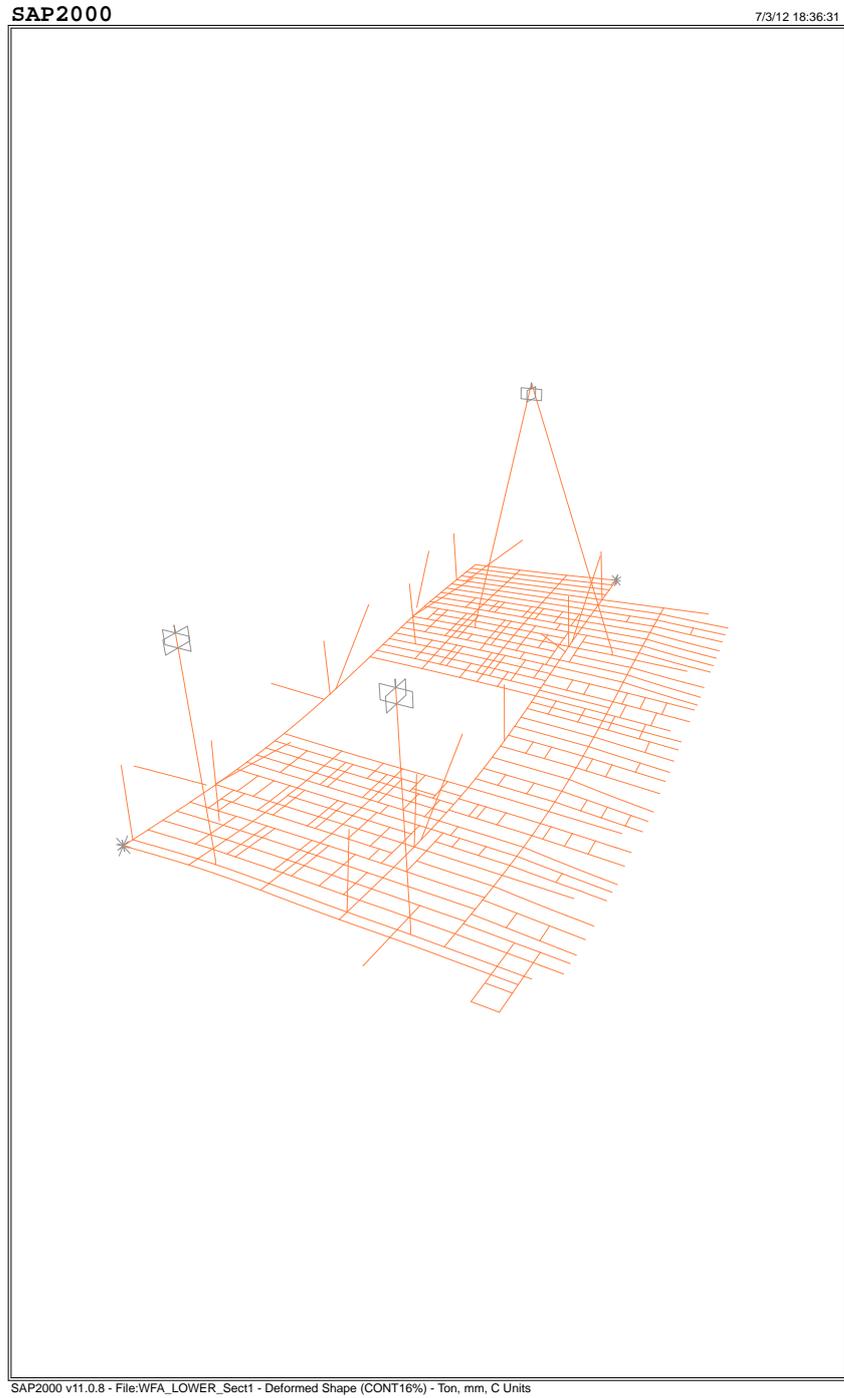


Figura I.7: Deformation lifting section 1

PAD-EYE CHECK			
References:		#1 Lloyd's Register of Shipping Guidance Notes for Module Lifting Criteria - June 1983 #2 0027/ND Guidelines for Marine Lifting Operations	
INPUT DATA			
Material		S420<63	
Material Yield Stress	$F_y =$	390 MPa	
Pin Diameter	$d_0 =$	125 mm	STD GREEN PIN 85 T
Hole Diameter	$d =$	130 mm	
Cheek Plate Diameter	$D =$	400 mm	
Pad Eye External Diameter	$D_0 =$	500 mm	
Pad Eye Main Plate THK	$t_1 =$	40 mm	
Cheek Plate THK	$t_c =$	30 mm	
Weld Leg Cheek Plate	$w_L =$	25 mm	
Safety Factor	$SF =$	2,0 -	
Acting Force on Pad Eye	$F =$	1,063 kN	
AUX OUTPUT			
Effective Thk of each Cheek Plate	$t_e =$	20,0 mm	
Acting Force on Cheek	$F_s =$	319 KN	
Cheek Plate Weld Length	$L_w =$	628 mm	Chapter 2.4.3
Cheek Plate Weld Area	$A_w =$	10.996 mm ²	
Aux Bearing Factor	$t =$	80 mm	
Bearing Thickness Discriminant	$\Delta =$	1,63 -	Chapter 2.4.1
Thickness Bearing Limitation	$R_B =$	OK -	
Ratio Hole Diameter - Pin Diameter	$R_D =$	1,04 -	Chapter 2.4.2
Max Hole Diameter	$d_{max} =$	131,25 mm	Ref.1
Shear Factor a	$a =$	241 mm	
Shear Factor b	$b =$	189 mm	
Tensile Factor c	$c =$	185 mm	
Shear Area	$A_v =$	17.222 mm ²	
Tension Area	$A_T =$	12.800 mm ²	Chapter 2.4.1
Bearing Area	$A_B =$	10.400 mm ²	
Allowable Weld Stress	$F_v =$	156 MPa	
OUTPUT			
Bearing Limitations	OK	Pin/Hole Ratio	OK Chapter 2.4.1 & 2
	OK	Bearing Thk	
Allowable Shear Force	$V_{all} =$	2.015 kN	U.C. 0,53
Allowable Tensile Force	$T_{all} =$	2.696 kN	U.C. 0,39
Allowable Bearing Force	$B_{all} =$	1.764 kN	U.C. 0,60
Cheek Plate Weld Stress	$f_w =$	58 MPa	U.C. 0,37
STATUS	STRESS ALLOWABLE		MAX U.C. 0,60
Author:	Francesco Ceroni		
Object:	padeye		
Lloyd Register Main Formulas:			
$V_{all} = 0.6 * F_y * (a * t_1 + 2 * b * t_c) / SF \quad B_{all} = 0.67 * F_y * d * (t_1 - 2 * t_e) / SF$ $T_{all} = 1.08 * F_y * (c * t_1 + (D - d) * t_c) / SF \quad t_e = \min(t_1 / 2; 3 * w_L; t_c)$ $f_w = SF * (F * t_e) / (t_1 + 2 * t_c) / ((\pi * D) / 2 * 0.7 * w_L)$			

Figura I.8: Padeye type 1 checking lifting section 1

PAD-EYE CHECK			
References:		#1 Lloyd's Register of Shipping Guidance Notes for Module Lifting Criteria - June 1983 #2 0027/ND Guidelines for Marine Lifting Operations	
INPUT DATA			
Material		S420<63	
Material Yield Stress	$F_y =$	390 MPa	
Pin Diameter	$d_0 =$	83 mm	STD GREEN PIN 85 T
Hole Diameter	$d =$	86 mm	
Cheek Plate Diameter	$D =$	300 mm	
Pad Eye External Diameter	$D_e =$	360 mm	
Pad Eye Main Plate THK	$t_1 =$	40 mm	
Cheek Plate THK	$t_c =$	30 mm	
Weld Leg Cheek Plate	$w_L =$	20 mm	
Safety Factor	$SF =$	2,0 -	
Acting Force on Pad Eye	$F =$	629 kN	
AUX OUTPUT			
Effective Thk of each Cheek Plate	$t_e =$	20,0 mm	
Acting Force on Cheek	$F_s =$	189 KN	
Cheek Plate Weld Length	$L_w =$	471 mm	Chapter 2.4.3
Cheek Plate Weld Area	$A_w =$	6.597 mm ²	
Aux Bearing Factor	$t =$	80 mm	
Bearing Thickness Discriminant	$\Delta =$	1,08 -	Chapter 2.4.1
Thickness Bearing Limitation	$R_B =$	OK -	
Ratio Hole Diameter - Pin Diameter	$R_D =$	1,04 -	Chapter 2.4.2
Max Hole Diameter	$d_{max} =$	87,15 mm	Ref.1
Shear Factor a	$a =$	175 mm	
Shear Factor b	$b =$	144 mm	
Tensile Factor c	$c =$	137 mm	
Shear Area	$A_v =$	12.740 mm ²	
Tension Area	$A_T =$	9.760 mm ²	Chapter 2.4.1
Bearing Area	$A_B =$	6.880 mm ²	
Allowable Weld Stress	$F_v =$	156 MPa	
OUTPUT			
Bearing Limitations	OK	Pin/Hole Ratio	OK Chapter 2.4.1 & 2
	OK	Bearing Thk	
Allowable Shear Force	$V_{all} =$	1.491 kN	U.C. 0,42
Allowable Tensile Force	$T_{all} =$	2.055 kN	U.C. 0,31
Allowable Bearing Force	$B_{all} =$	1.167 kN	U.C. 0,54
Cheek Plate Weld Stress	$f_v =$	57 MPa	U.C. 0,37
STATUS	STRESS ALLOWABLE		MAX U.C. 0,54
Author:	Francesco Ceroni		
Object:	padeye		
Lloyd Register Main Formulas:			
$V_{all} = 0.6 * F_y * (a * t_1 + 2 * b * t_c) / SF$ $B_{all} = 0.67 * F_y * d * (t_1 - 2 * t_c) / SF$ $T_{all} = 1.08 * F_y * (c * t_1 + (D - d) * t_c) / SF$ $t_e = \min(t_1/2; 3 * w_L; t_c)$ $f_v = SF * (F * t_c) / (t_1 + 2 * t_c) / ((\pi * D) / 2 * 0.7 * w_L)$			

Figura I.9: Padeye type 2 checking lifting section 1

PAD-EYE CHECK			
References:		#1 Lloyd's Register of Shipping Guidance Notes for Module Lifting Criteria - June 1983 #2 0027/ND Guidelines for Marine Lifting Operations	
INPUT DATA			
Material		S420<63	
Material Yield Stress	$F_y =$	390 MPa	
Pin Diameter	$d_0 =$	83 mm	STD GREEN PIN 85 T
Hole Diameter	$d =$	86 mm	
Cheek Plate Diameter	$D =$	300 mm	
Pad Eye External Diameter	$D_0 =$	360 mm	
Pad Eye Main Plate THK	$t_1 =$	40 mm	
Cheek Plate THK	$t_c =$	30 mm	
Weld Leg Cheek Plate	$w_L =$	20 mm	
Safety Factor	$SF =$	2,0 -	
Acting Force on Pad Eye	$F =$	481 kN	
AUX OUTPUT			
Effective Thk of each Cheek Plate	$t_e =$	20,0 mm	
Acting Force on Cheek	$F_s =$	144 KN	
Cheek Plate Weld Length	$L_w =$	471 mm	Chapter 2.4.3
Cheek Plate Weld Area	$A_w =$	6.597 mm ²	
Aux Bearing Factor	$t =$	80 mm	
Bearing Thickness Discriminant	$\Delta =$	1,08 -	Chapter 2.4.1
Thickness Bearing Limitation	$R_B =$	OK -	
Ratio Hole Diameter - Pin Diameter	$R_D =$	1,04 -	Chapter 2.4.2
Max Hole Diameter	$d_{max} =$	87,15 mm	Ref.1
Shear Factor a	$a =$	175 mm	
Shear Factor b	$b =$	144 mm	
Tensile Factor c	$c =$	137 mm	
Shear Area	$A_v =$	12.740 mm ²	
Tension Area	$A_T =$	9.760 mm ²	Chapter 2.4.1
Bearing Area	$A_B =$	6.880 mm ²	
Allowable Weld Stress	$F_v =$	156 MPa	
OUTPUT			
Bearing Limitations	OK	Pin/Hole Ratio	OK Chapter 2.4.1 & 2
	OK	Bearing Thk	
Allowable Shear Force	$V_{all} =$	1.491 kN	U.C. 0,32
Allowable Tensile Force	$T_{all} =$	2.055 kN	U.C. 0,23
Allowable Bearing Force	$B_{all} =$	1.167 kN	U.C. 0,41
Cheek Plate Weld Stress	$f_w =$	44 MPa	U.C. 0,28
STATUS	STRESS ALLOWABLE		MAX U.C. 0,41
Author:	Francesco Ceroni		
Object:	padeye		
Lloyd Register Main Formulas:			
$V_{all} = 0.6 * F_y * (a * t_1 + 2 * b * t_c) / SF \quad B_{all} = 0.67 * F_y * d * (t_1 - 2 * t_e) / SF$ $T_{all} = 1.08 * F_y * (c * t_1 + (D - d) * t_c) / SF \quad t_e = \min(t_1 / 2; 3 * w_L; t_c)$ $f_w = SF * (F * \frac{t_c}{t_1 + 2 * t_c}) / (\frac{\pi * D}{2} * 0.7 * w_L)$			

Figura I.10: Padeye type 1 checking lifting section 3

APPENDICE J

Center of gravity section 2

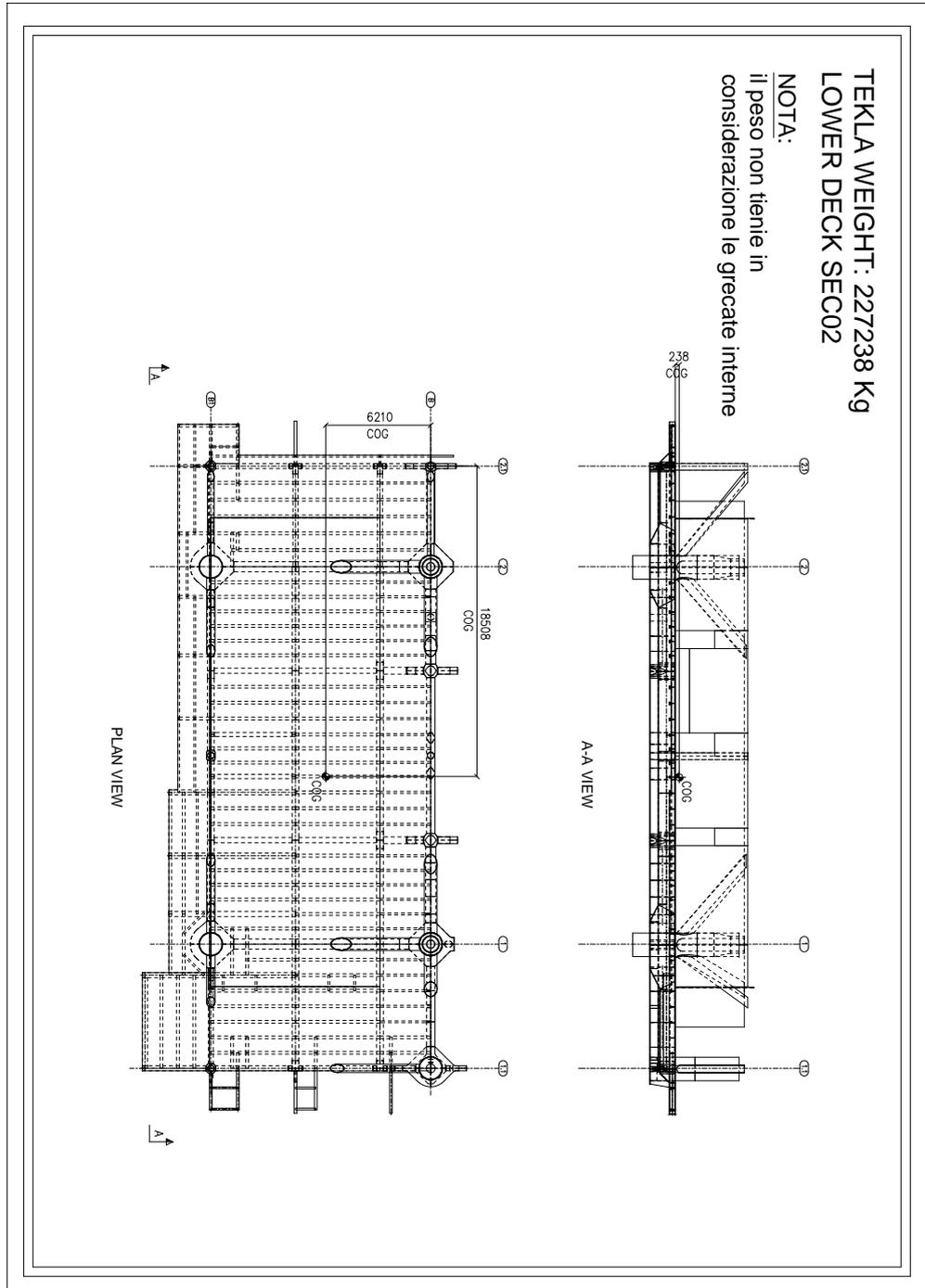


Figura J.1: Lower level deck section 2 - Center of gravity

APPENDICE K

Movement section 2

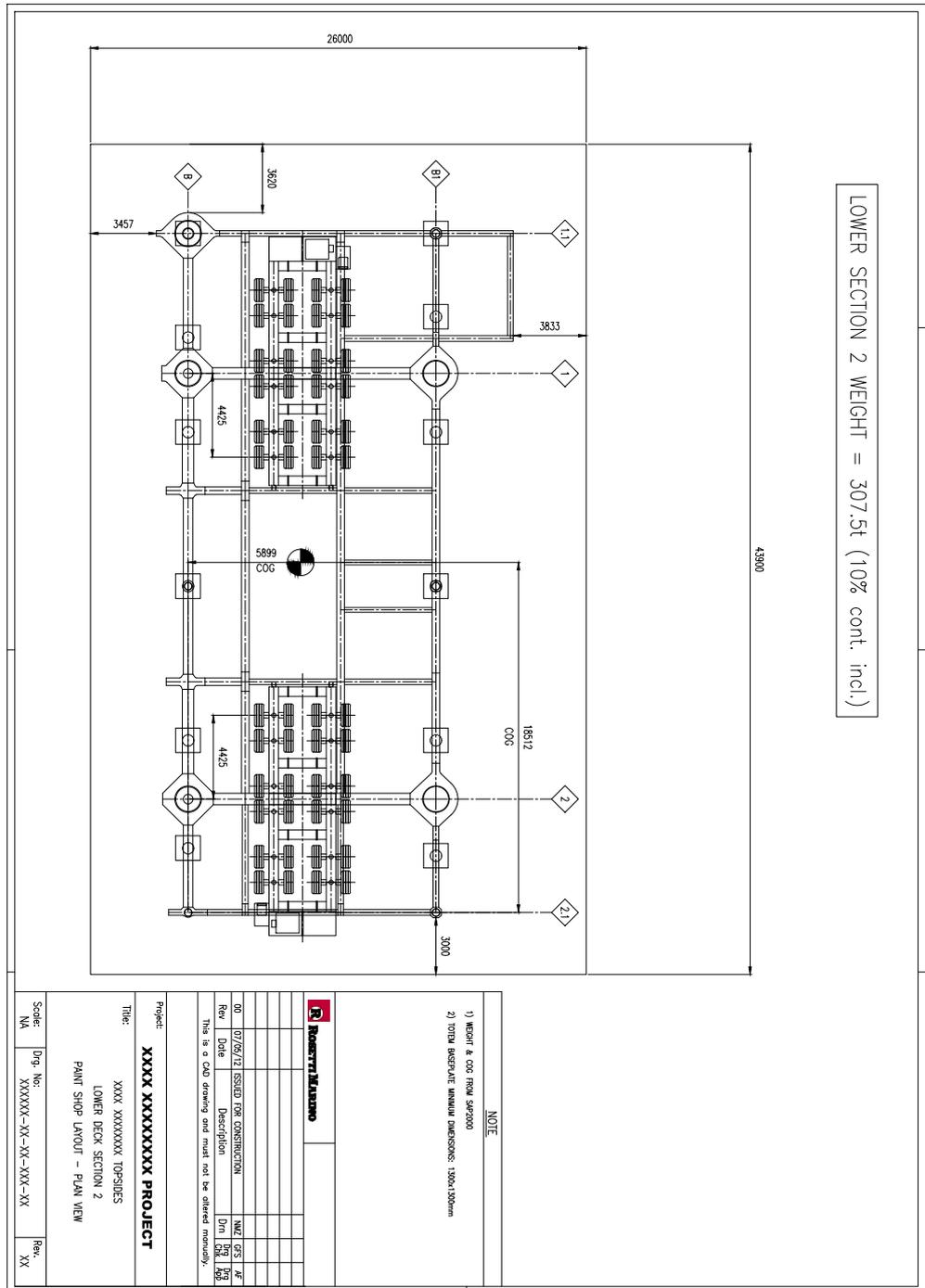


Figura K.1: Lower level deck section 2 - Paint shop layout - plan view

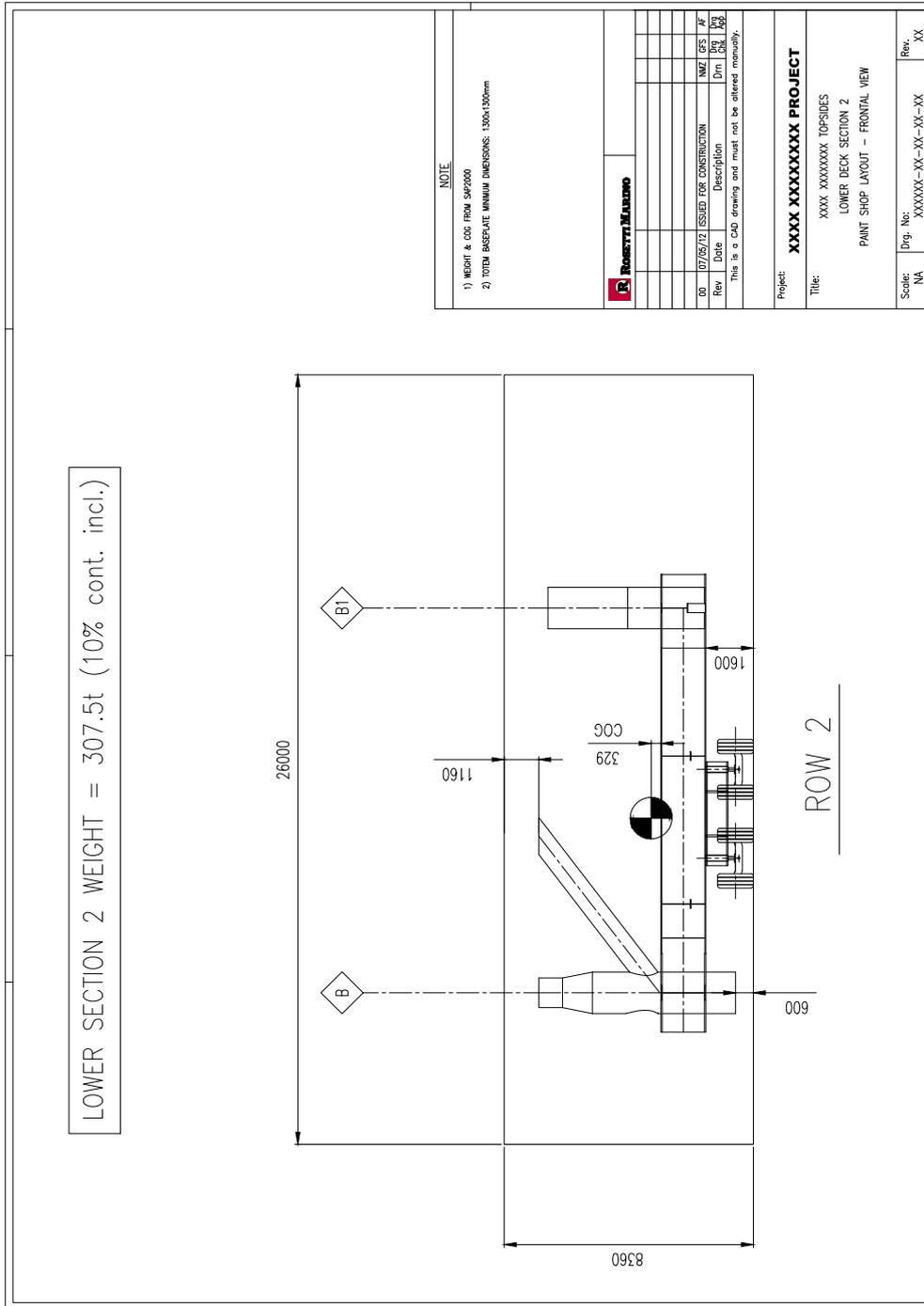


Figura K.2: Lower level deck section 2 - Paint shop layout - frontal view

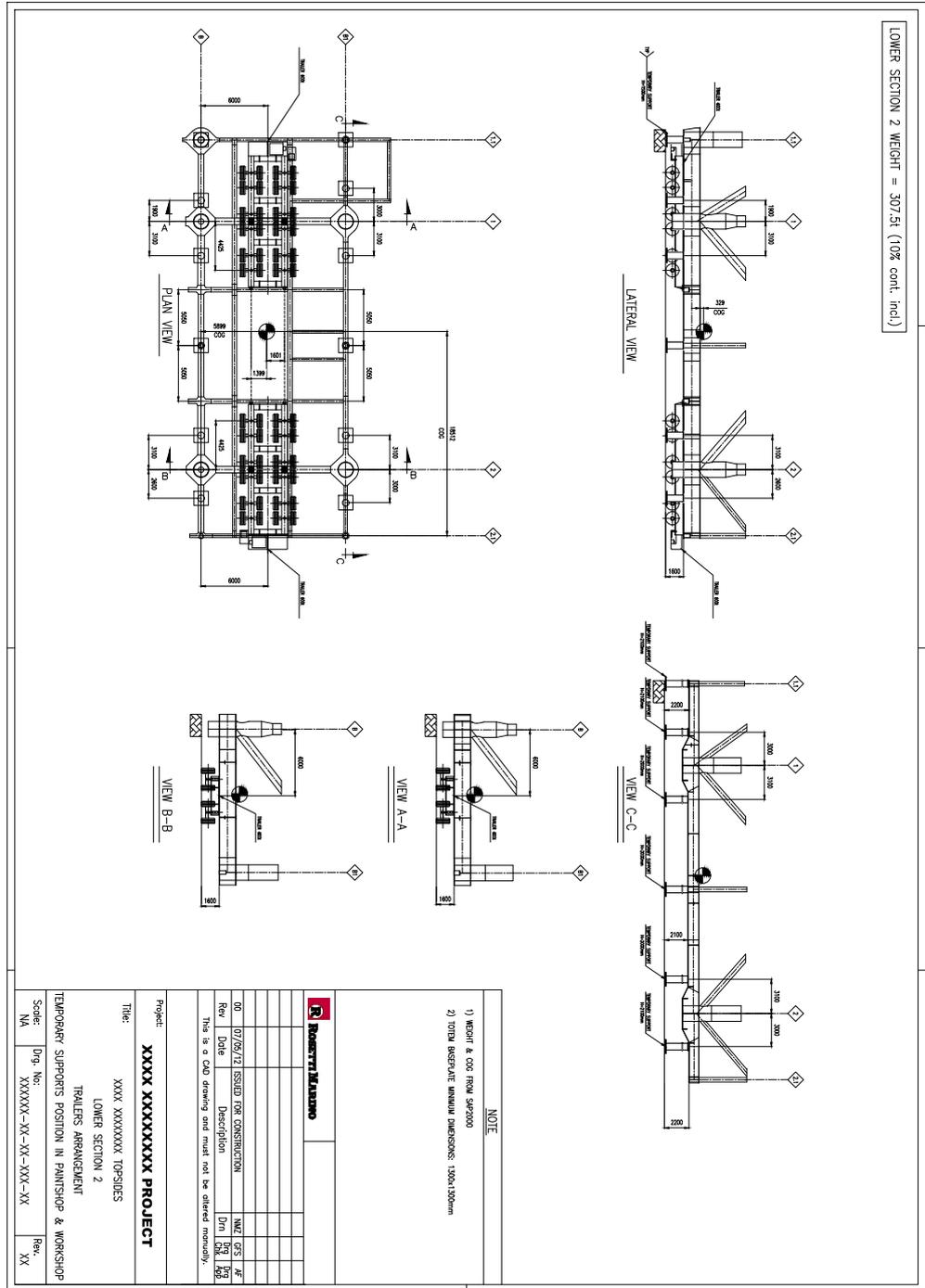


Figura K.3: Lower level deck section 2 - General arrangement

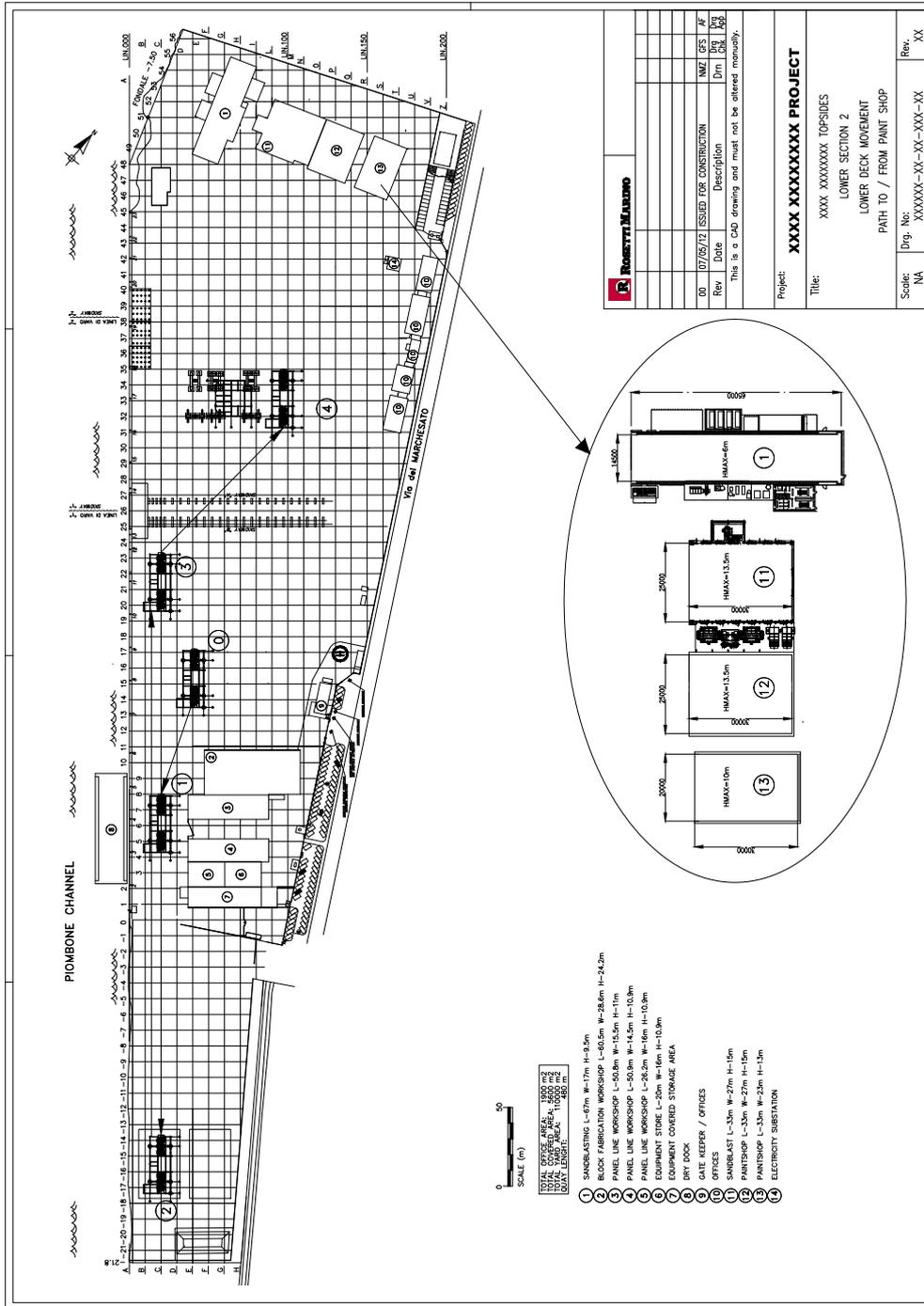


Figura K.4: Lower level deck section 2 - Yard movement

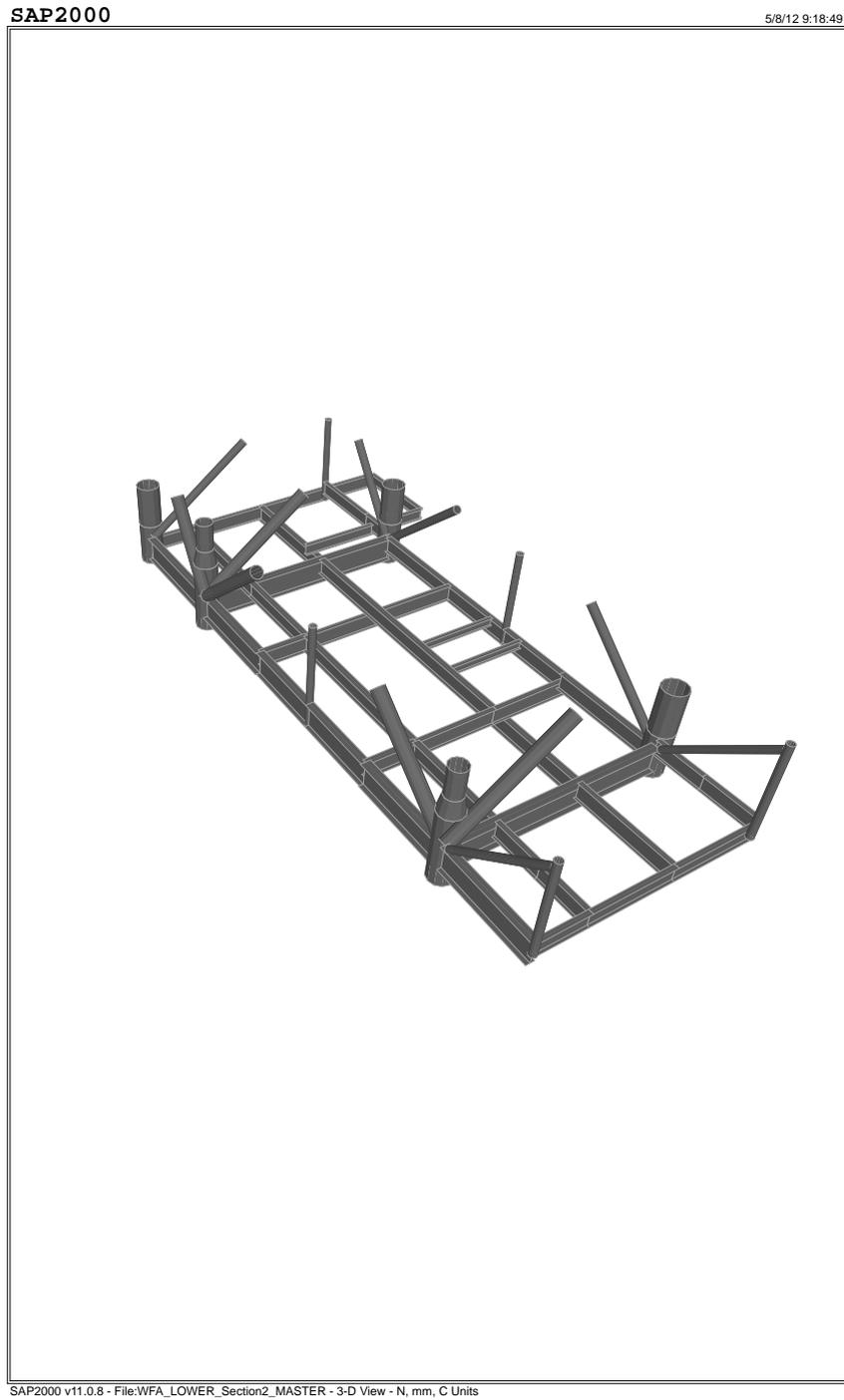


Figura K.5: 3D view section 2

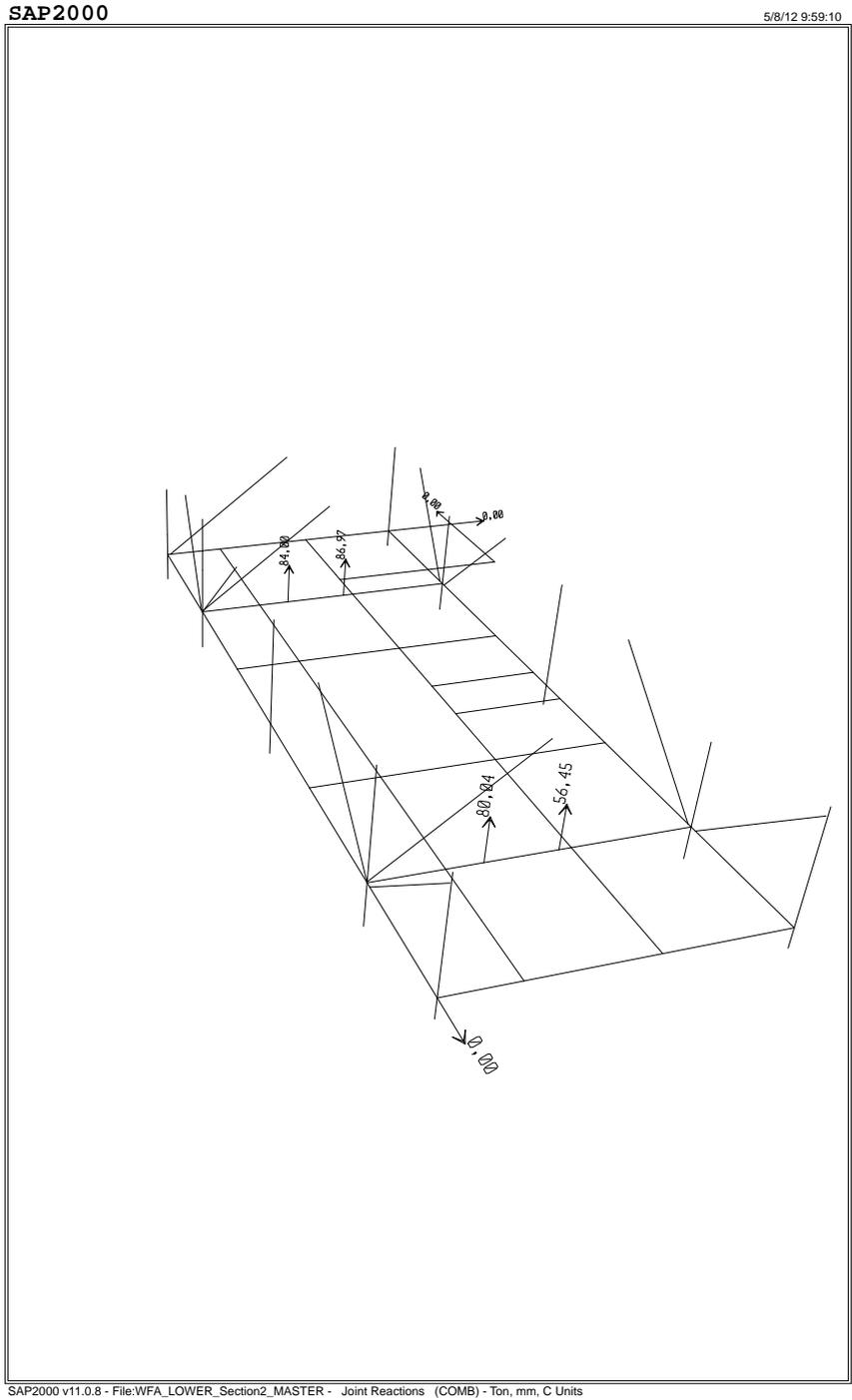


Figura K.6: Reactions section 2

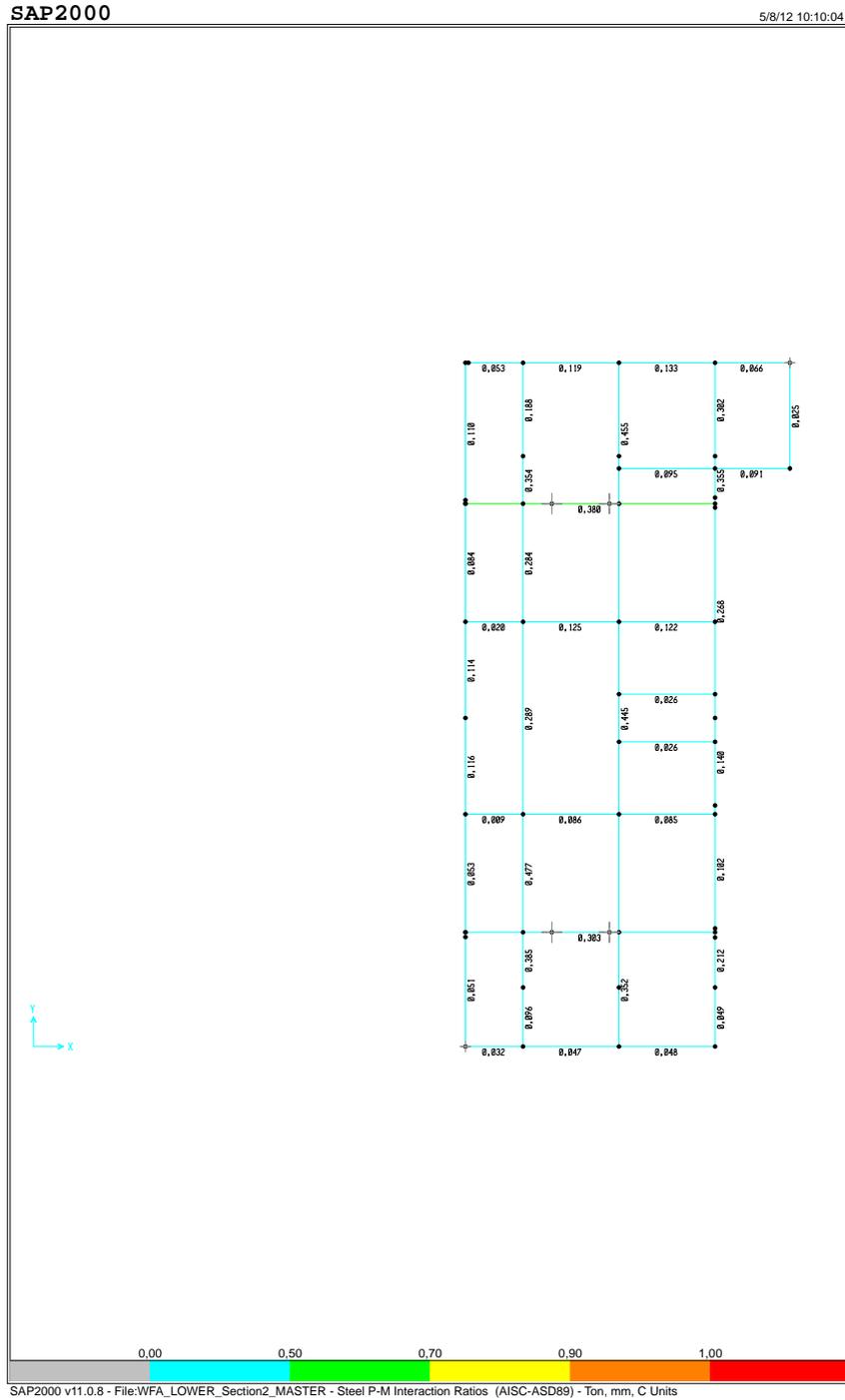


Figura K.7: Analysis plan view section 2

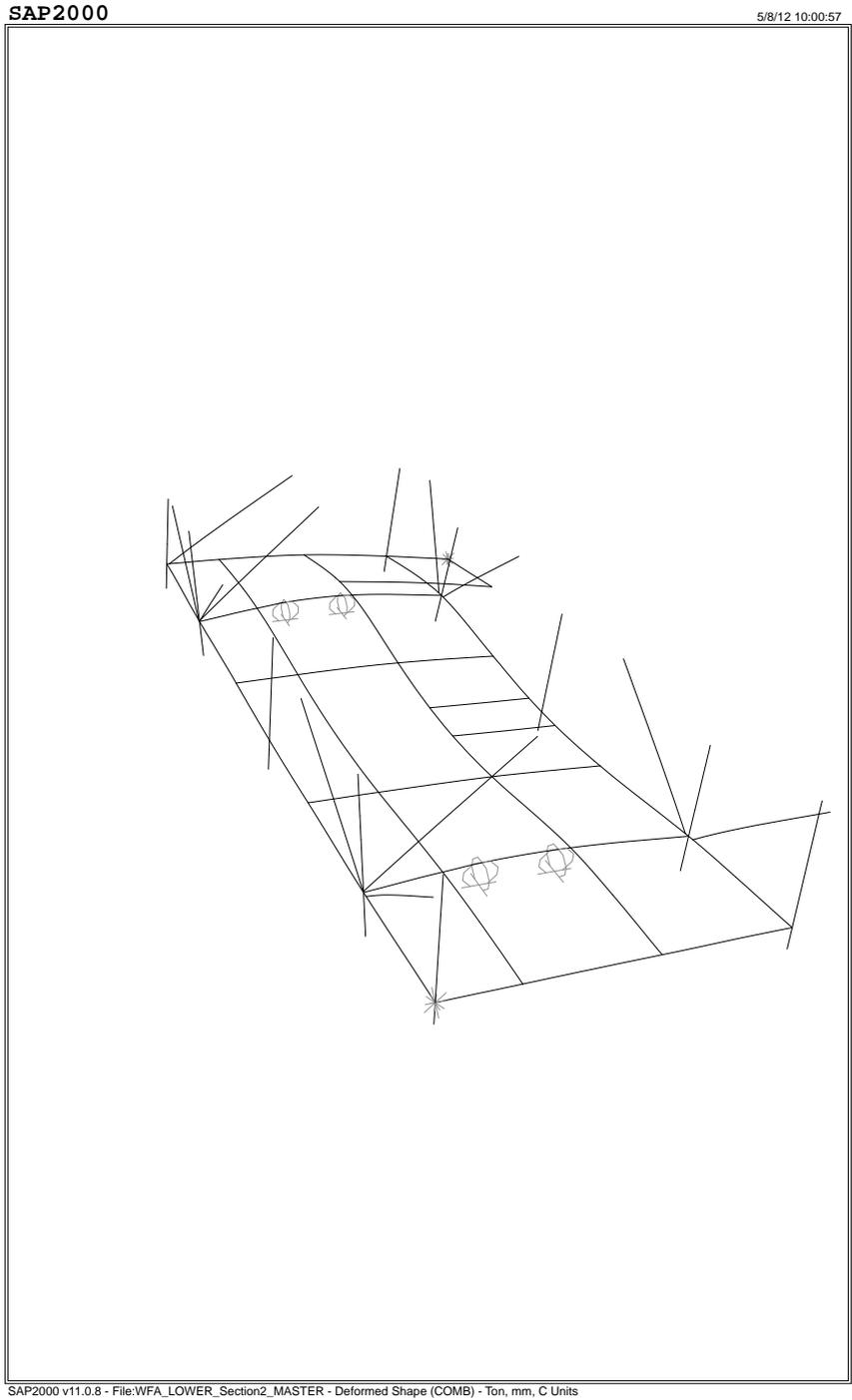


Figura K.8: Deformation section 2

APPENDICE L

Lifting section 2

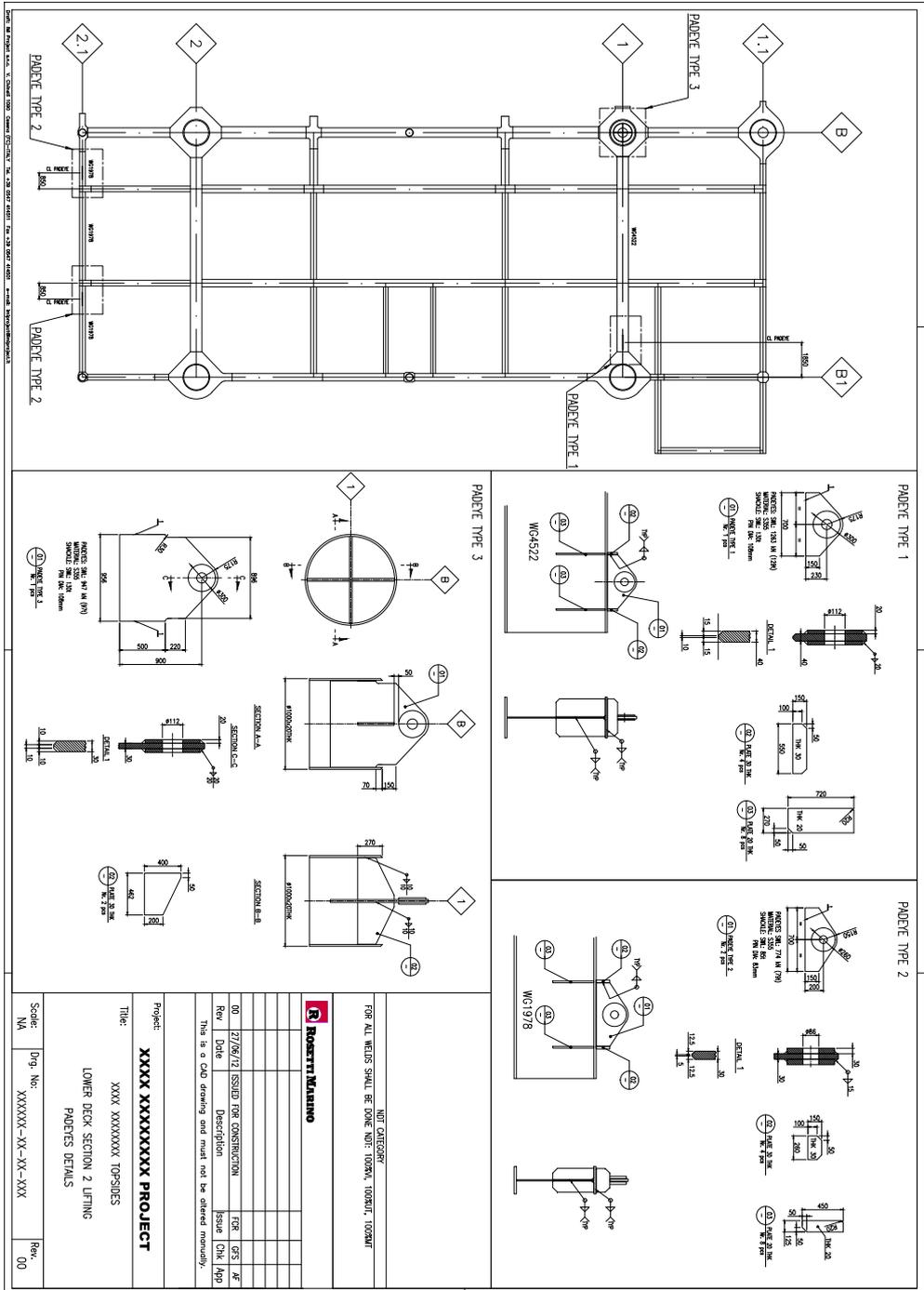


Figura L.1: Lower level deck section 2 - Padeyes

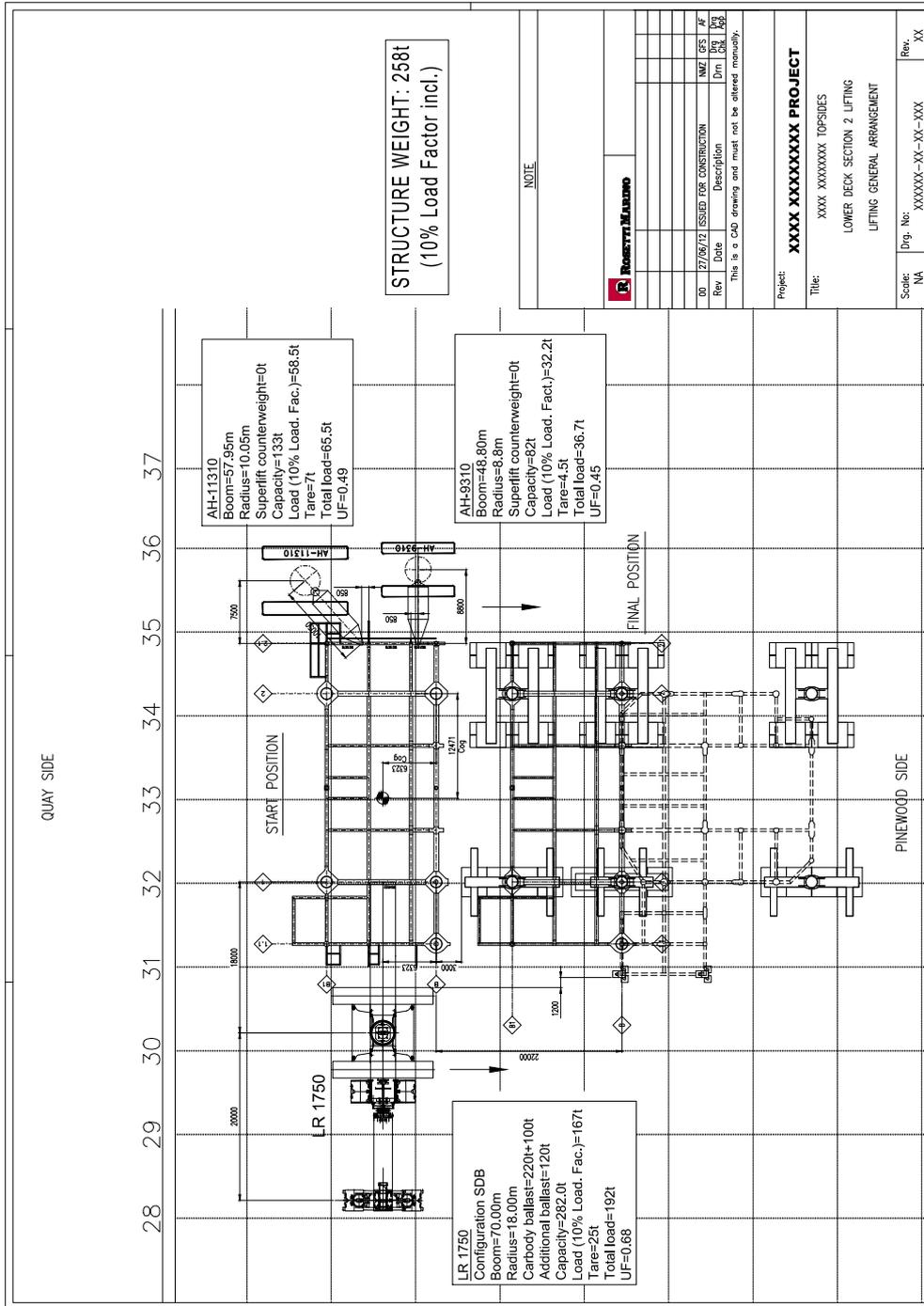


Figura L.2: Lower level deck section 2 - Lifting movement

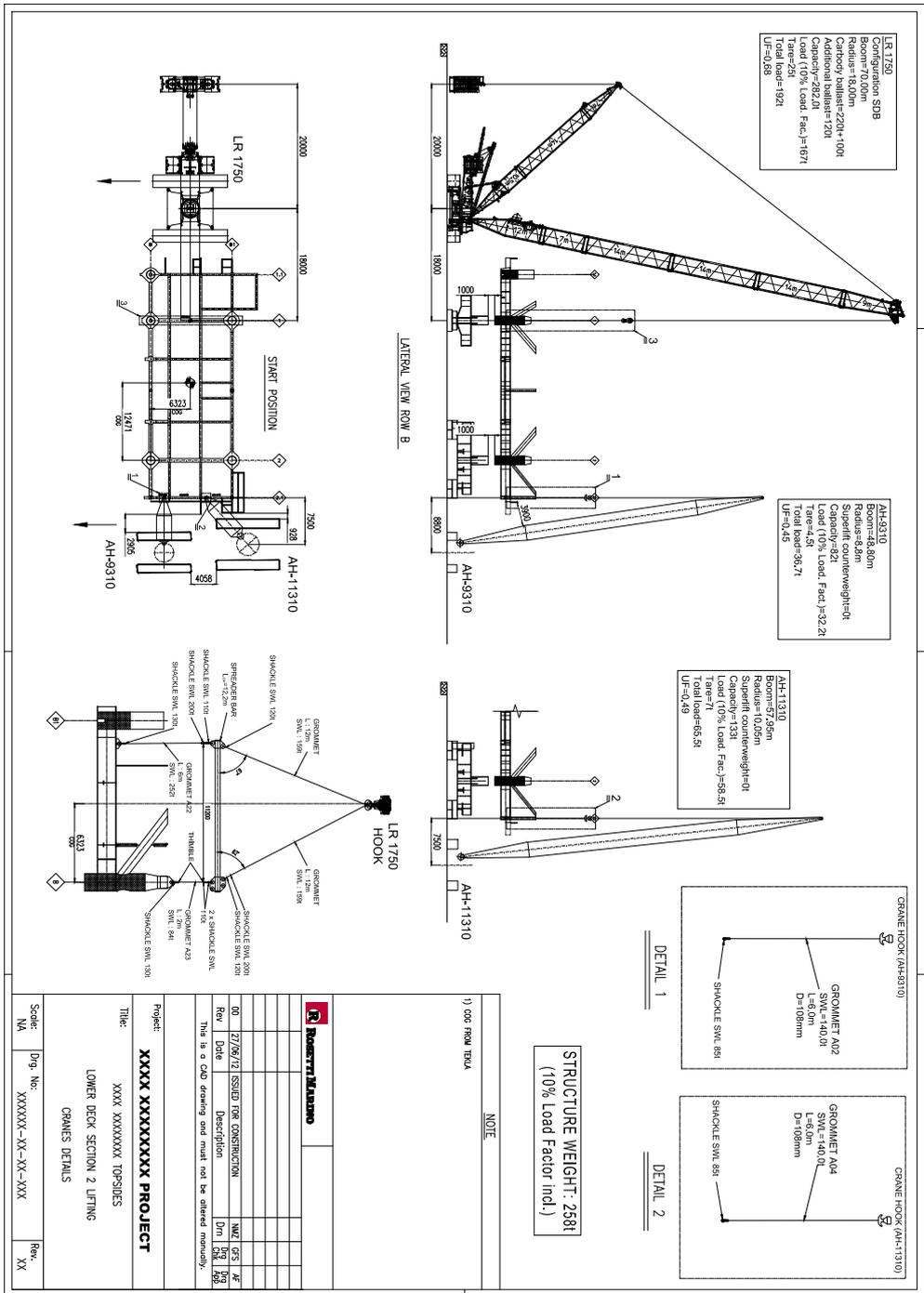


Figura L.3: Lower level deck section 2 - Lifting arrangement

Bibliografia

Normative

- [1] UNI ISO 5966. *Documentazione - Presentazione dei rapporti scientifici e tecnici, 1989.*
- [2] DM 14 gennaio 2008 - GU 4 febbraio 08 - *Norme tecniche per le costruzioni.*
- [3] CNR-UNI 10011. *Costruzioni di acciaio, Giugno 1988.*
- [4] Lloyd's Register of Shipping. *Guidance Notes for Module Lifting Criteria, June '83.*
- [5] American Petroleum Institute. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design - Twentyfirst edition, December 2000.*
- [6] American Institute of Steel Construction inc. *Manual of steel construction - Allowable Stress Design - Ninth Edition.*
- [7] European Standard EN1022 - August 2001 - *Weldable structural steels for fixed offshore structures - Technical delivery conditions.*
- [8] Norsok Standard M120 - 5 November 2008 - *Material data sheets for structural steels*

Manuali

- [9] Massimo Brunetta, Leonardo Bandini, Michele De Lorenzi - *SAP2000 - analisi lineare/non lineare integrata con verifiche per strutture tridimensionali.*

- [10] Belleli, Construction & Services s.r.l. - Carrello semovente serie STD, modello: STD 600 JD 12WD - *Istruzioni per l'uso*
- [11] Le gru cingolate American Hoist - *Gru cingolata AM HOIST mod.9310*
- [12] Le gru cingolate American Hoist - *Gru cingolata AM HOIST mod.11310*
- [13] Le gru cingolate Fagioli Group - *Gru cingolata Liebherr LR 1750*

Testi

- [14] Odone Belluzzi. *Scienza delle costruzioni - Vol.1 - Zanichelli - 1966.*
- [15] Odone Belluzzi. *Scienza delle costruzioni - Vol.2 - Zanichelli - 1966.*
- [16] Odone Belluzzi. *Scienza delle costruzioni - Vol.3 - Zanichelli - 1966.*
- [17] Odone Belluzzi. *Scienza delle costruzioni - Vol.4 - Zanichelli - 1966.*
- [18] Vincenzo Dal Re. *Dispense del corso di comportamento meccanico dei materiali.*
- [19] Dario Croccolo, Nicoló Vincenzi. *Lezioni di Fondamenti e Tecnica della Progettazione Meccanica - I Edizione - Esculapio - 2009.*
- [20] Dario Croccolo, Rossano Cuppini. *Esercizi di tecnica delle costruzioni meccaniche e costruzione di macchine - I Edizione - Pitagore - 2003.*

Websites

- [21] <http://www.rosetti.it/> - *sito web della società ospitante.*
- [22] <http://www.fores.it/> - *sito web di una delle società del gruppo Rosetti.*
- [23] <http://www.basisengineering.it/> *sito web di una delle società del gruppo Rosetti.*
- [24] <http://www.kcoi.kz/> *sito web di una delle società del gruppo Rosetti.*
- [25] <http://www.aisc.org/> - *sito web di American Institute of Steel Construction.*
- [26] <http://www.api.org/> - *sito web del American Petroleum Institute.*
- [27] <http://www.lr.org/> - *sito web del Lloyd's Register.*